

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS - CFM
–COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA - OCN
CURSO BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

ODAIR AMÉRICO JUNIOR

CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DO SETOR CENTRAL DA LAGOA DA
CONCEIÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA - SC

FLORIANÓPOLIS

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

ODAIR AMÉRICO JUNIOR

CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DO SETOR CENTRAL DA LAGOA DA
CONCEIÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA - SC

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenadoria Especial de Oceanografia, Centro
de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade
Federal de Santa Catarina, como requisito parcial
para obtenção de grau de Bacharel em
Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti

FLORIANÓPOLIS

2018
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DO SETOR CENTRAL DA LAGOA DA
CONCEIÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA - SC

Odair Américo Jr.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria Especial de
Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial
para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia

Julgado em / /

Banca Examinadora:

JARBAS BONETTI

Orientador – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/SC

ANTONIO HENRIQUE DA FONTOURA KLEIN

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC /SC

NORBERTO OLMIRO HORN FILHO

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/SC

Este trabalho é dedicado aos meus pais e
minha irmã, que sempre estão comigo nas
caminhadas da vida, mesmo muito longe.
Meu incondicional amor a vocês.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Odair e Marta, exemplo como pessoas, pelo amor e apoio que sempre recebi.

A minha irmã Isabela, por sempre se prontificar a me ajudar, de todas as maneiras, amor de irmãos.

Ao meu orientador Jarbas Bonetti, pela confiança e oportunidades que me deu, sem as quais essa dissertação não seria possível. Admiro esse incrível professor pela dedicação à pesquisa, um exemplo.

Aos meus amigos da turma 4 da oceanografia, minha família na universidade e meus irmãos para vida (Diogo, Lu, Tuko, Theia, Mari, Ju, Brunão, Rafinha, Matheus, Jão e Marina)

Aos colegas do LOC, agradeço por todas as contribuições diretas e indiretas, trocas de conhecimento; não só no desenvolvimento desse trabalho, mas também pelo dia a dia e sorrisos que recebi.

Em especial agradeço a Faynna, que me ajudou sempre e dividiu seu espaço de trabalho comigo.

Ao professor Rodrigo, meu guia em SIG.

A professora Carla Bonetti, pelos conselhos e motivação, obrigado por acreditar na minha graduação.

Ao Caio, meu irmão da vida e revisor oficial.

Fer, Lib, Low, Tapa e Gui obrigado por sempre me motivar e fazer parte da família que escolhi.

Aos demais amigos que participaram da minha jornada na UFSC, um grande abraço a todos que passaram e acrescentaram algo nessa experiência universitária.

"Life is just a ride." – Zeitgeist.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
LISTA DE ANEXOS	11
RESUMO	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Geral	15
2.2 Específicos.....	15
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	16
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
4.1 Lagunas Costeiras.....	22
4.2 Pockmarks	25
4.3 Geoacústica Marinha	26
4.3.1 Interferômetro (Sonar de Varredura Lateral).....	28
4.4 Sedimentologia.....	30
4.4.1 Granulometria.....	30
4.4.2 Parâmetros Estatísticos dos Sedimentos	31
4.5 Sistema de Informações Geográficas (SIG).....	32
4.5.1 Modelo Digital de Terreno (MDT).....	34
4.5.2 Interpolador Vizinho Natural	34
4.5.3 Estimador de Densidade Kernel (KDE).....	37
5 MATERIAIS E MÉTODOS	38
5.1 Equipamentos Utilizados	39
5.1.1 Calibragem dos Equipamentos	42
5.2 Seleção e Organização dos Dados	43
5.3 Processamento dos Dados	44
5.3.1. Batimétricos.....	44
5.3.2 Sonográficos.....	45
5.3.3 Sedimentológicos	49
5.4 Integração dos Dados	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6.1 Batimetria, Declividade e Orientação de Vertentes.....	51
6.2 Mosaico da Sonografia e Feições Associadas	54

6.2.1 Estruturas de Escape de Gás.....	59
6.3 Distribuição Sedimentar e Granulométrica.....	62
6.3.1 Análise Granulométrica e Textural.....	62
6.3.2 Análise Espacial da Granulometria.....	67
6.4 Análise Integrada dos Resultados	71
7 CONCLUSÃO	73
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXO I – Setor Norte da Lagoa da Conceição (Lagoa de Cima):.....	78
ANEXO II – Setor Central da Lagoa da Conceição (Lagoa do Meio):	79
ANEXO III – Setor Sul da Lagoa da Conceição (Lagoa de Baixo):.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica da ilha de Santa Catarina e da Lagoa da Conceição (A).	16
Figura 2: Vista aérea da localização da área de estudo. Fonte: Google Earth.	17
Figura 3: Sobreposição dos campos de vetores da circulação hidrodinâmica, referente à situação de preamar na embocadura do canal (marés usuais sem vento). Fonte: Andrade, 2001.....	20
Figura 4: Sobreposição dos campos de vetores da circulação hidrodinâmica, referente à situação de baixa-mar na desembocadura do canal (marés usuais sem vento). Fonte: Andrade, 2001.....	21
Figura 5: Linha de costa dominada por ondas com uma planície costeira margeada por uma praia arenosa (eustasia negativa). Fonte: Nichols, 2009.	23
Figura 6: Linha de costa dominada por ondas com um esporão arenoso formando uma barreira e protegendo a laguna (eustasia positiva). Fonte: Nichols, 2009.	23
Figura 7: Zoneamento lagunar relacionado ao regime de marés e variação sazonal da salinidade em uma laguna. Fonte: Bird (2008).....	24
Figura 8: SONAR. Fonte: Matos, 2005.....	27
Figura 9: Ilustração do produto obtido de um sonar de varredura lateral. Fonte: Souza, 2006.	28
Figura 10: Geometria do sistema de aquisição de dados do sonar de varredura lateral. Vista do canal lateral esquerdo. Fonte: Souza, 2006.	29
Figura 11: Diagrama de Voronoi e triangulação de Delaunay, fonte Matos (2005).	35
Figura 12: Interpolação de vizinho natural, fonte: Matos (2005).....	36
Figura 13: Esquema de pesos utilizado na interpolação de vizinho natural, fonte: Matos (2005).....	36
Figura 14: Fluxograma esquemático da pesquisa	38
Figura 15: Sonar EdgeTech 4600: TPU (esquerda) e “peixe” (direita), fonte: Manual EdgeTech 4600.	40
Figura 16: Movimentos da embarcação.....	41
Figura 17: Esquema de montagem do interferômetro segundo instruções do fabricante. Fonte: Manual EdgeTech 4600, adaptado.....	42
Figura 18: Monitores do equipamento (esquerda) e embarcação utilizada na coleta de dados com o “peixe” instalado na lateral, ancorado através da estrutura desenvolvida para o mesmo. (direita). Fonte: Porpilho, 2015.....	43
Figura 19: Em destaque a área do levantamento sonográfico realizado com o interferômetro.	45
Figura 20: (A): mosaico da interferometria com sobreposição; (B): gráfico da sobreposição (verde: 100% de cobertura, salmão: 200% de cobertura, laranja: 300% de cobertura); (C): exemplo de e sobreposição dos sonogramas.	46
Figura 21: Mapeamento das pockmarks (circuladas em azul) utilizando a ferramenta Contact Manager.	47
Figura 22: Interface do software ArcGIS com pontos referentes ao mapeamento espacial das pockmarks, cada cor corresponde a diferentes linhas importadas do SonarWiz6®.	48
Figura 23: Linhas (sonogramas) selecionadas para o estudo da área de pesquisa, interface do SonarWiz6® em escala cinza.	48
Figura 24: Localização dos pontos de coleta.....	49
Figura 25: Batimetria da Lagoa da Conceição baseada no levantamento topográfico do IPUF.	51
Figura 26: Mapa de declividade da camada de fundo da Lagoa da Conceição	52
Figura 27: Orientação de vertentes do fundo da Lagoa da Conceição.	53
Figura 28: Mosaico da área de sonografia e localização das feições identificadas.	54
Figura 29: Feição 2 - Sudeste.....	55

Figura 30: Visualização espacial da feição 2, refletindo o deslocamento em relação a frente do campo de dunas (orientação invertida do mapa).....	55
Figura 31: Sonograma apresentando (A) possíveis ripple-marks e (B) zona de ruído abaixo do “peixe”.	56
Figura 32: Feição 1 – Noroeste.....	56
Figura 33: Sonograma com evidências de gás sendo liberado para a coluna d’água em forma de bolhas (área rachurada em vermelho).....	57
Figura 34: Sonograma apresentando pockmarks (azul); chaminé de pockmarks (vermelho); possíveis bolhas na coluna d’água (branco), e medições no diâmetro das estruturas.....	58
Figura 35: Distribuição das pockmarks em relação a profundidade.....	59
Figura 36: Densidade de Kernel indicando maiores concentrações em três grandes núcleos.....	60
Figura 37: Comparação entre dois sonogramas; esquerda: pockmarks assimétricas (região noroeste do SC); direita: pockmarks simétricas (região central do SC)	61
Figura 38: Distribuição (%) das classes de areia nas estações de coleta.	64
Figura 39: Distribuição (%) granulométrica das estações de coleta.	65
Figura 40: Comparação da distribuição granulométrica nas amostras com M.O.....	65
Figura 41: Diagrama triangular de Flemming (2000), para classificação textural das amostras.	66
Figura 42: Diagrama triangular de Shepard (1954), para classificação textural das amostras.....	66
Figura 43: Mapa da distribuição do diâmetro médio dos grãos no setor central.....	67
Figura 44: Mapa da distribuição do diâmetro médio dos grãos no setor central.....	68
Figura 45: Mapa da assimetria dos grãos no setor central.	69
Figura 46: Mapa da curtose dos grãos no setor central.....	70
Figura 47: Integração dos resultados.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGC – *Automatic Gain Control* (Controle de Ganho Automático)
AP – Antes do Presente
DGPS – *Differential Global Positioning System* (Sistema Diferencial de Posicionamento Global)
DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação
IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
KDE – *Kernel Density Estimator* (Estimador de Densidade Kernel)
LOC – Laboratório de Oceanografia Costeira
MDT – Modelo Digital de Terreno
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MO – Matéria Orgânica
MRU – *Motion Reference Unit* (Unidade de Referência de Movimento)
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SVP – *Sound Velocity Profiler* (Perfilador da Velocidade do Som)
TPU – *Topside Processing Unit* (Unidade de Processamento Embarcada)
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UTM – Universal Transversa de Mercator

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – Localização do Setor Norte

ANEXO II – Localização do Setor Central

ANEXO III – Localização do Setor Sul

RESUMO

A presente pesquisa foi desenvolvida no setor central da bacia lagunar da Lagoa da Conceição. Este trabalho tem por objetivo realizar o processamento e integração de dados sonográficos, batimétricos e texturais oriundos de coletas realizadas com um interferômetro (Edge-Tech 4600) e campanhas de amostragem de sedimentos superficiais. A análise foi conduzida em ambiente SIG utilizando o sistema ArcGIS e o processamento teve por base os *softwares*, SonarWiz, ArcGIS e Sysgran. As bases texturais dos sedimentos, batimétricas e sonográficas foram integradas e analisadas de forma a se obter diferentes representações espaciais; a distribuição das propriedades dos sedimentos, feições identificadas e relevo de fundo. Como resultado, obteve-se: mapas da batimetria, declividade e orientação de vertentes da extensão total do complexo lagunar, baseados em dados topográficos do IPUF (Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis); posição geográfica de possíveis estruturas de escape de gás encontradas nas imagens de sonar e sua densidade da cobertura; gráficos e mapas da distribuição e classificação granulométrica dos sedimentos; mosaico das imagens de sonar (*Side Scan Sonar*) e feições associadas do setor Central da laguna. A integração dos resultados possibilitou a setorização da área de estudo morfológica e texturalmente, assim como a descrição da complexidade relacionada as variáveis analisadas, na tentativa de explicar a atual configuração das feições presentes, assim como os processos dinâmicos atuantes no setor Central da Lagoa da Conceição.

Palavras-chave: Interferometria, Sonar de visada lateral, Geodiversidade, Geomorfologia lagunar.

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes lagunares costeiros, segundo Porto Filho (1993), ocupam uma área considerável da zona costeira dos continentes. Na América do Sul, cerca de 12,2% da extensão da costa se apresenta sob forma lagunar, o que representa 10,3% da extensão mundial ocupada por esses ambientes. (CROMWEL, 1971, *apud* PORTO FILHO, 1993.).

Franco *et al.* (2018) explicam em seu trabalho que a Lagoa da Conceição é uma laguna ligada ao oceano Atlântico pelo Canal da Barra da Lagoa, formando um sistema estuarino caracterizado por ecossistemas localizados na interface oceano/terra e, por isto, complexos e altamente produtivos. Nos estuários ocorrem importantes processos de mistura da água continental e oceânica. Como zonas de transição entre ambientes marinhos e fluviais, terrestres e aquáticos, estão sujeitas a transformações nas mais diversas escalas de tempo e espaço e, portanto, altamente sensíveis à influência antropogênica.

Considerando essa abordagem, o entendimento da estrutura e dos processos atuantes nos sistemas ambientais costeiros é de fundamental importância para se utilizar os recursos disponíveis de forma racional e responsável (RUDORFF *et al.*, 2005).

A geomorfologia tem um caráter integrador entre as ciências ambientais, pois estuda vários aspectos da superfície e busca compreender a evolução espaço-temporal do relevo terrestre (BAUER NETO, 2007). De acordo com Bauer Neto (2007), as características geomorfológicas de uma laguna têm grande importância para seu comportamento hidrológico, tais como o funcionamento dos processos que controlam o movimento das águas e os impactos de mudança do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água.

Do ponto de vista sedimentológico, os sedimentos depositados no fundo de uma área marinha, estuarina ou lagunar, constituem-se na resultante final de todas as formas, fatores e agentes ocorrentes. Se os sedimentos estão presentes, e sua distribuição faz-se segundo determinados padrões e características, é em consequência direta de todo o complexo de situações e condições atuantes (KUTNER, 1962, *apud* PORTO FILHO, 1993).

Considerando os estudos realizados por Krumbein e Pettijohn (1938, *apud*

PORTO FILHO, 1993), as condições hidrodinâmicas influenciam na granulometria apresentada pelo sedimento de fundo de um corpo lagunar. A velocidade de corrente, turbulência, densidade e viscosidade do meio transportador, aliados à estabilidade das condições da corrente, são intensamente responsáveis pelos diferentes tipos de distribuições de frequência de tamanho das partículas.

Conclui-se, portanto, que a complexidade fisiográfica de uma laguna é diretamente dependente das variáveis ambientais, tais como, origem da bacia, tamanho e distribuição dos sedimentos, morfologia e profundidade do relevo submerso, dentre as demais variáveis citadas.

No presente estudo foram abordadas representações das variáveis batimétricas, sonográficas e sedimentológicas, com intuito de caracterizar morfologicamente e sedimentologicamente a área central da Lagoa da Conceição, com objetivo de auxiliar a compreensão da evolução do corpo lagunar e entender a atual dinâmica deposicional.

Trabalhos nesta linha têm sido realizados com frequência, motivados pela grande necessidade de informações sobre esses ambientes (BAUER NETO, 2007.).

Existe uma carência de planejamento adequado do espaço ocupado pela Lagoa da Conceição, em especial no setor central onde há grande ação antropogênica. Em um ecossistema o planejamento adequado do espaço territorial, visando compatibilizar a convivência dos seres que o habitam com as atividades nele exercidas, é fundamental para manter o equilíbrio ecológico e desenvolvimento sustentável deste (REBELLO FILHO; BERNARDO, 1998).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar dados batimétricos, sonográficos e sedimentológicos do setor central da Lagoa da Conceição, com intuito de descrever as feições morfológicas e sedimentológicas e caracterizar a área da pesquisa para tentar entender os processos locais.

2.2 Específicos

- a) Processar os dados batimétricos da carta topográfica do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis.
- b) Realizar o tratamento dos dados de sonografia obtidos por um interferômetro.
- c) Zonear a área do ponto de vista sedimentar, a partir dos dados já coletados, considerando como base o método de Folk & Ward (1957) e a proposta de classificação de Flemming (2000).
- d) Analisar espacialmente o controle batimétrico sobre a distribuição sedimentar no setor central da Lagoa da Conceição.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O litoral de Santa Catarina, localizado entre as latitudes sul de $25^{\circ}57'41''$ e $29^{\circ}23'55''$, representa nos seus 538 km de extensão, cerca de 7% do litoral do Brasil. Sua planície costeira representa a porção emersa das bacias marginais marinhas de Santos e Pelotas, que juntamente com a plataforma continental e o embasamento, constituem a província costeira do Estado de Santa Catarina (DIEHL & HORN FILHO, 1966 *apud* HORN FILHO *et al.*, 2004).

Nesse contexto situa-se a Lagoa da Conceição, a qual constitui uma laguna com área aproximada de 20 km², que se estende por 13,5 km em sentido norte-sul, com largura variável entre 0,15 e 2,5 km (CARUSO JR; MUEHE., 1989; PORTO FILHO, 1993.), localizada no município de Florianópolis, Estado de Santa Catarina, na costa nordeste da Ilha de Santa Catarina, à latitude $27^{\circ}34'$ S e longitude $48^{\circ}27'$ W (Figura 1).

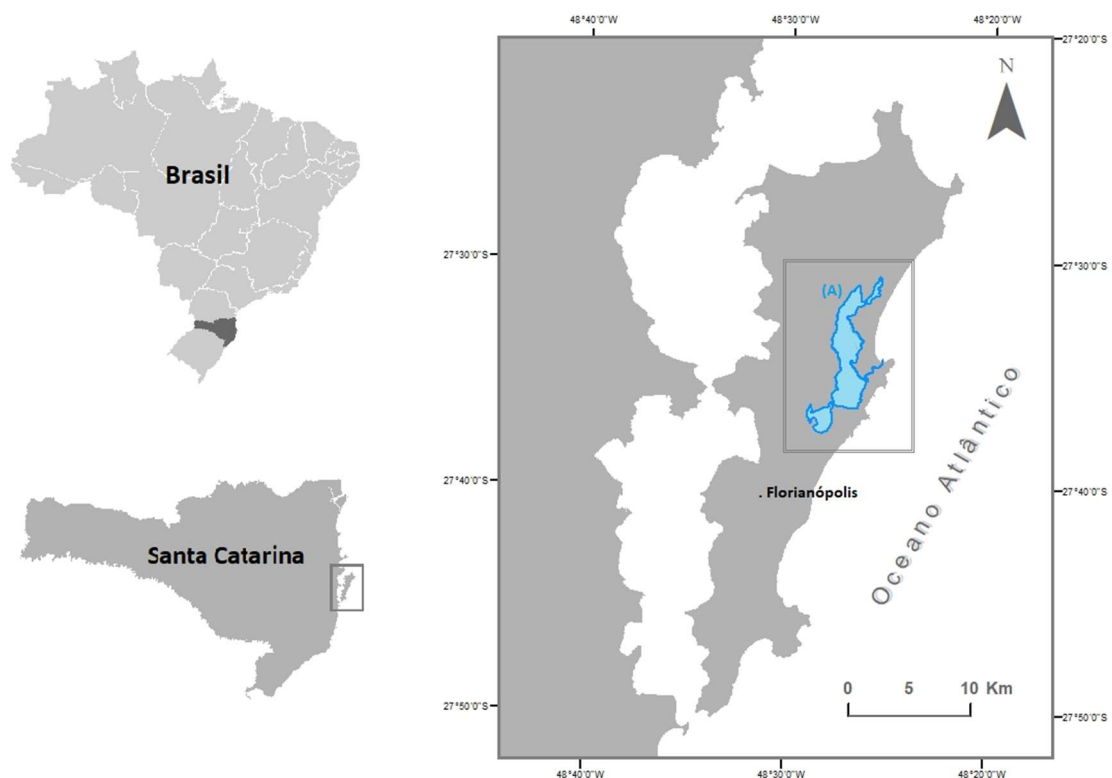


Figura 1: Localização geográfica da ilha de Santa Catarina e da Lagoa da Conceição (A).

A forma alongada da Lagoa da Conceição paralelo à linha de costa é irregular e recortada por dunas e morros, que formam três subsistemas popularmente conhecidos como Lagoa Central, Lagoa do Norte e Lagoa do Sul ou simplesmente Lagoa do Meio de Cima e de Baixo (CARUSO JR; MUEHE., 1989; FRANCO, *et al*, 2008). A área de estudo engloba a Lagoa Central, ou setor central (Anexo II).

O setor Central da Lagoa da Conceição central ocupa a maior extensão da laguna e possui um canal intra-lagunar, no qual é registrada sua máxima profundidade e que se entende adjacente e paralelo a sua margem oeste, a qual é constituída por maciços cristalinos vegetados que drenam uma série de pequenos córregos. À sudeste também encontramos maciços cristalinos e a nordeste campos de dunas fixas, florestadas com pinheiros. Este corpo d'água é ligado ao subsistema Norte através de um canal intra-lagunar que corre paralelo a oeste da laguna e comunica-se ao subsistema Sul por um estreito canal de três metros de profundidade, na sua porção sudoeste (SOUZA SIERRA *et al.*, 1999 *apud* BAUER NETO, 2007) (Figura 2).



Figura 2: Vista aérea da localização da área de estudo. Fonte: Google Earth.

Rudorff *et al* (2005) afirmam que o corpo lagunar está conectado de forma restrita ao oceano adjacente por um único canal de 2,8 km de extensão. O canal tem largura variável entre 20 e 40m e tem sua foz frente ao mar aberto, na praia da Barra da Lagoa. As marés apresentam amplitude média de aproximadamente 20 cm,

podendo, em eventos excepcionais, o nível da água alcançar um aumento de até 40 cm (CARUSO JR; MUEHE., 1989).

Além do canal, a Lagoa da Conceição também recebe aportes de água provenientes de precipitações regulares diretas ou indiretas, resultantes do escoamento superficial, e da drenagem de pequenos córregos e rios (DUTRA, 1990).

A bacia lagunar teve sua formação a partir da construção de barreiras de idades pleistocênica e holocênica durante eventos transgressivos e regressivos do mar, que isolaram a laguna. Na atual configuração, é margeada a oeste por rochas graníticas, alongadas na direção norte-sul, com encostas íngremes e praias pouco desenvolvidas, enquanto que em suas margens norte, leste e sul a presença das barreiras arenosas faz com que se desenvolvam feições sedimentares, bancos extensos e praias de baixa declividade e sedimentos bem selecionados (RUDORFF *et al*, 2005).

A fonte principal de sedimentos para a laguna constitui-se dos terrenos que ocupam as áreas marinais. São registrados 3 tamanhos de grãos, sendo que em ordem de abundancia predominam: as areias, silte e argila (CARUSO JR; MUEHE., 1989).

Ainda, segundo Muehe e Caruso Jr. (1989), na área de estudo existe predominância de ventos do quadrante norte, porém os ventos do quadrante sul são mais intensos, sendo estes responsáveis pela formação dos campos de dunas adjacentes ao setor Central da laguna. Pela sua posição entre as latitudes médias da zona subtropical, o clima é temperado, super úmido, sofrendo influência das massas Tropical Atlântica e Polar Atlântica (HORN FILHO *et al.*, 2004).

As condições hidrodinâmicas da Lagoa da Conceição informadas nesse trabalho são oriundas da modelagem, assim como suas conclusões, realizada por Andrade (2001) em sua dissertação de mestrado em Engenharia Oceânica.

De acordo com Andrade (2001), a modelagem hidrodinâmica computacional da bacia lagunar realizada em seu trabalho permitiu observar comportamentos bastante particulares desse tipo de estuário:

- Foi verificado grande influência dos ventos sobre o padrão de circulação da Lagoa da Conceição, sendo essa mais evidente nos compartimentos Norte e Sul, onde a maré tem uma contribuição menor. Nos trechos mais rasos é possível observar o escoamento direcionado de acordo com o vento incidente.

- As elevações máximas no interior da laguna ocorrem com um atraso de aproximadamente quatro horas em relação a preamar na entrada do canal, esta se comporta como um “pistão”, enchendo-se uniformemente durante a entrada de água no canal e esvaziando-se da mesma forma durante a saída.
- Analisando um período de três dias na sizígia, verificou-se que na vazante os períodos e as velocidades das correntes no canal foram maiores do que na enchente. Como as diferenças encontradas foram pequenas, é possível que o canal tenha uma leve tendência a expulsar sedimentos, ou seja, fazer o que se denomina “autolimpeza”. Godoy *et al.* (2018) relataram resultados compatíveis com essa afirmação na análise realizada em seu trabalho, que demonstra a ocorrência de uma filtragem de alta frequência no comportamento hidrodinâmico da laguna, indicando o canal da barra como um “filtro natural”.
- As variações do nível d’água no interior da laguna são basicamente influenciadas pela maré meteorológica. Considerando os efeitos das marés astronômica e meteorológica, percebe-se uma redução da altura da onda de maré no interior do estuário de cerca de 85%, com elevação variando em torno de 0,20 m.
- Foi evidenciado através dos resultados obtidos pelo modelo de transporte de partículas que na ausência de ventos não ocorrem trocas significativas de água no interior da laguna, já com incidência dos ventos reinante e dominante as misturas das massas d’água se tornam bastante expressivas.

As figuras 2 e 3 abaixo resumem o padrão de circulação modelado para situação sem vento, considerando apenas a maré enchente e vazante.

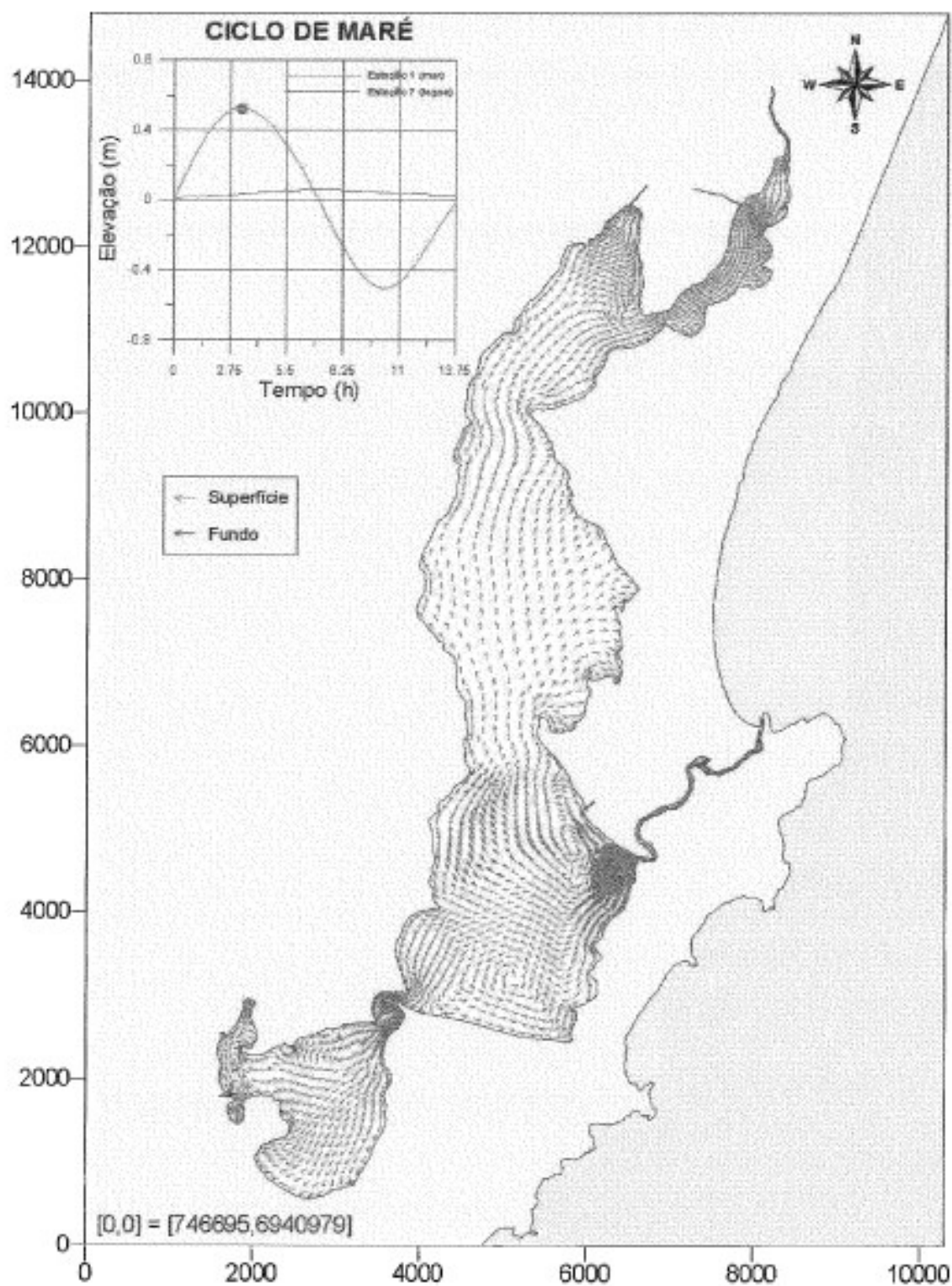


Figura 3: Sobreposição dos campos de vetores da circulação hidrodinâmica, referente à situação de preamar na embocadura do canal (marés usuais sem vento). Fonte: Andrade, 2001.

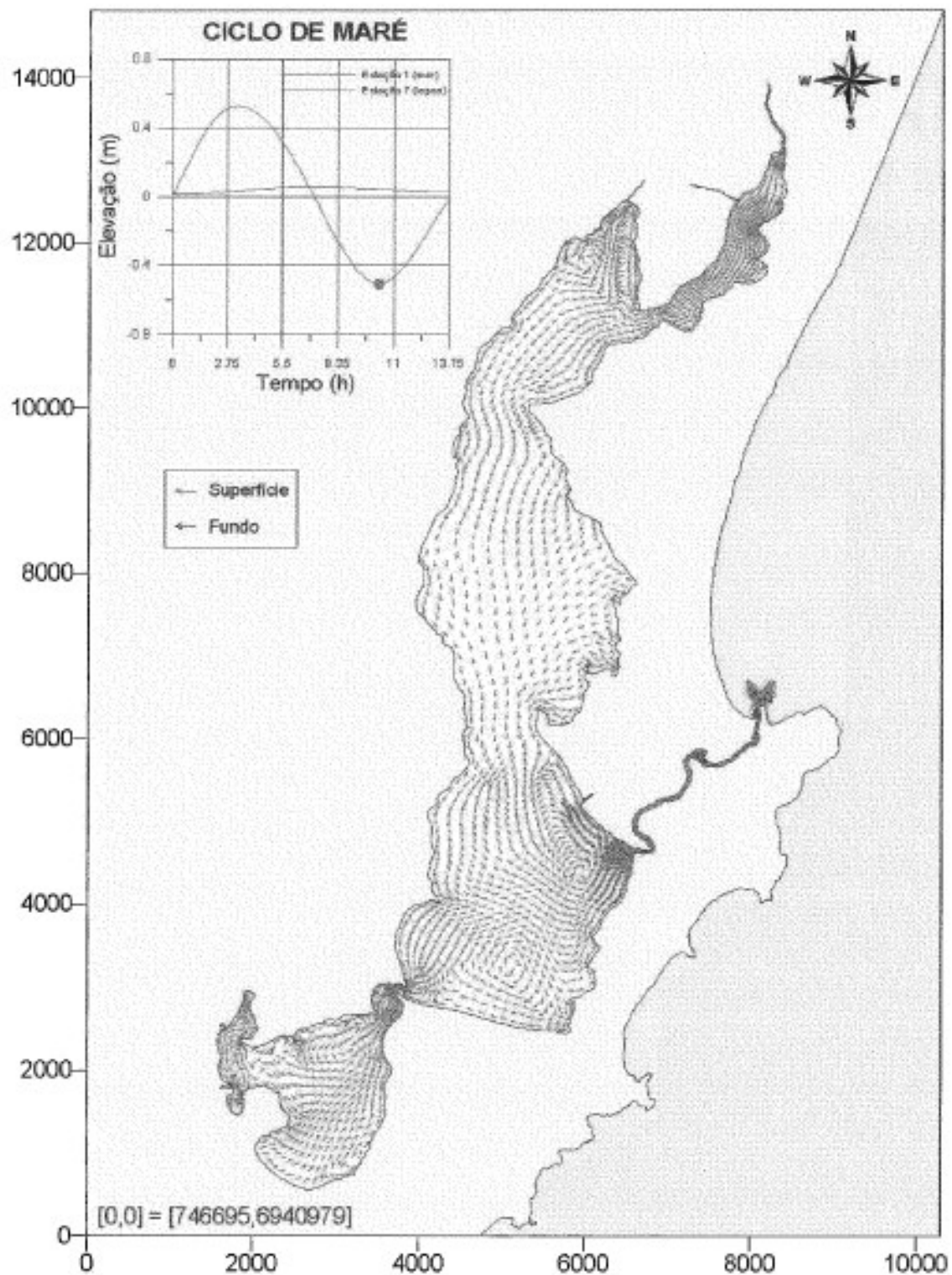


Figura 4: Sobreposição dos campos de vetores da circulação hidrodinâmica, referente à situação de baixa-mar na desembocadura do canal (marés usuais sem vento). Fonte: Andrade, 2001.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Lagunas Costeiras

Os ambientes costeiros são áreas de interface entre terra e mar, a costa pode abranger diversas zonas, incluindo planícies costeiras, praias, barreiras e lagunas.

Lagunas costeiras podem ser caracterizadas como áreas de profundidade relativamente rasa, que foram parcialmente desconectadas do oceano pela deposição de sedimentos, geralmente areia e/ou detritos carbonáticos, que criaram barreiras e esporões construídos acima do nível de maré alta, por meio da ação de ondas, somadas aos eventos de eustasia do nível do mar (COLOMBO, 1977; KJERFVE, 1993; COOPER, 1994; *apud* BIRD, 2008.).

Usualmente as lagunas são ligadas ao oceano por uma ou mais desembocaduras, podendo ser permanentes ou temporárias. A definição de uma bacia lagunar implica, no entanto, que sua conexão com o mar seja limitada a extensão da barreira que a separa do oceano (BIRD, 2008).

De acordo com Nichols (2009) a morfologia das linhas de costas é extremamente variável, constituindo encostas de penhascos até praias arenosas de configurações energéticas menores onde em geral são formadas as lagunas; uma alta variedade de tipos de sedimentos pode ser encontrada nesses sistemas deposicionais costeiros. Nos mares de água rasa geralmente existe uma rica fauna, e os restos dos detritos desses organismos fornecem uma importante fonte de material granulado bioclástico para as linhas de costa.

A forma da praia, e o desenvolvimento de sistemas de barreiras e lagunas, é dependente do regime de marés da linha de costa, podendo ser micro, meso ou macromarés. A eustasia do nível do mar também exerce uma forte influência na morfologia costeira, assim como as ondas. (NICHOLS, 2009).

Lagunas costeiras ocorrem no Brasil em locais onde visivelmente a eustasia atingiu níveis positivos e as barreiras arenosas se propagaram depois do recuo do nível do mar sob ação constante das ondas. Esses ambientes lagunares foram formados geralmente 6000 anos AP (Antes do Presente), originando-se em antigas

planícies costeiras, encostas de morros e paleo-pântanos submergidos pelo mar durante os últimos estágios da transgressão marinha em escala global no Holoceno (BIRD, 2008) (figuras 5 e 6).

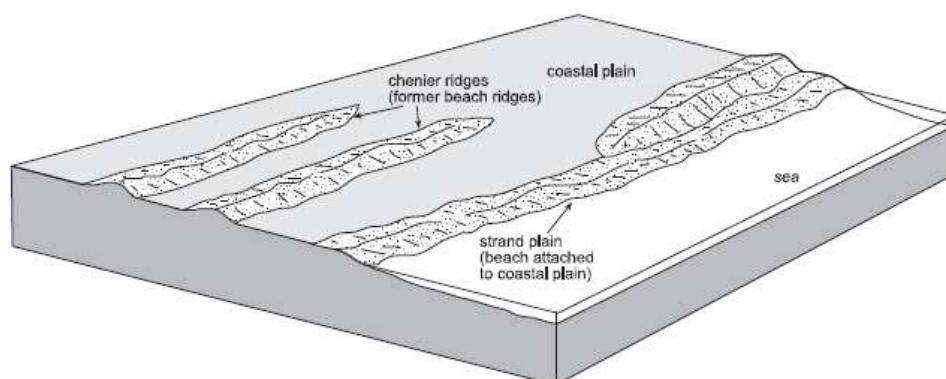


Figura 5: Linha de costa dominada por ondas com uma planície costeira margeada por uma praia arenosa (eustasia negativa). Fonte: Nichols, 2009.

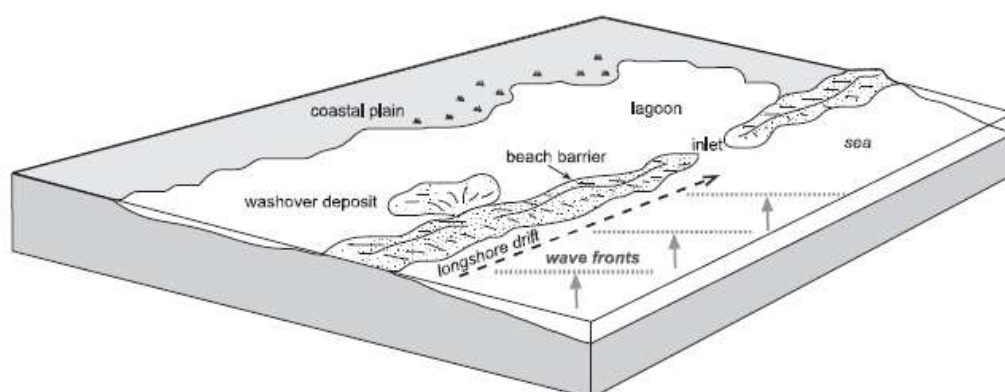


Figura 6: Linha de costa dominada por ondas com um esporão arenoso formando uma barreira e protegendo a lagoa (eustasia positiva). Fonte: Nichols, 2009.

Pode-se afirmar, portanto, que se existe uma praia arenosa bem desenvolvida, e a planície costeira atrás dela é mais profunda que a berma da praia, com um pequeno aumento do nível do mar a planície pode-se tornar parcialmente alagada formando uma lagoa, mantendo a berma praial subaérea formando uma barreira de proteção. Caso o nível do mar continue aumentando, para manter a barreira é necessário um aporte de sedimentos no balanço sedimentar.

Bird (2008) descreve lagunas costeiras possuindo uma variedade de formas e

tamanhos, que são relacionados com a configuração pré-existente da linha de costa e barreiras arenosas, assim como são modificadas internamente por erosão e características deposicionais dos sedimentos na sua própria costa e fundo lagunar. Tipicamente o leito das lagunas deposicionais são sub-horizontais, com a presença de canais mais profundos em consequência da topografia previamente existente ou então originadas de correntes existentes na bacia lagunar.

Lagunas costeiras mostram uma ampla variedade de características geomorfológicas e ecológicas. Em seu livro, Bird (2008) propõe três principais tipos de zonas relacionadas ao regime de marés: zona de água doce (próxima a desembocadura de rios, região mais estagnada com mínima ou praticamente nula influência da maré) zona transicional (água salobra, área relativamente pouco influenciada pela maré) e zona de marés (água salgada, altamente influenciado pela ação das marés), conforme esquema da figura 7:

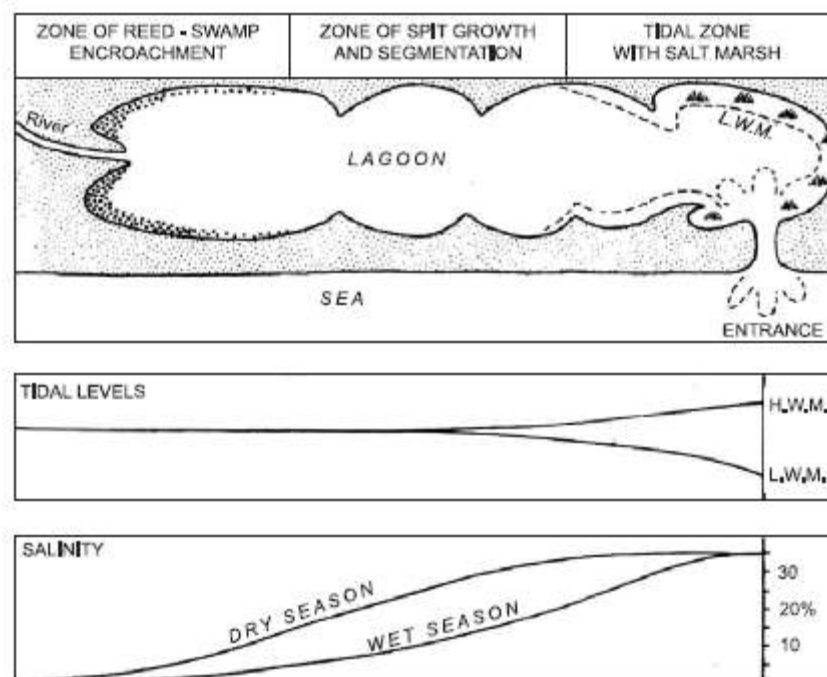


Figura 7: Zoneamento lagunar relacionado ao regime de marés e variação sazonal da salinidade em uma laguna. Fonte: Bird (2008)

4.2 Pockmarks

Pockmarks há muito vem sendo consideradas pela comunidade científica como importantes feições do leito submarino, que ocorrem tanto nos ambientes costeiros como nas plataformas oceânicas ou no fundo dos oceanos, não possuindo restrição geográfica aparente; foram observadas em altas latitudes, regiões tropicais e equatoriais (MAHIQUES *et al.*, 2017).

Mahiques *et al.* (2017) citam em seu trabalho Kelley (1994); Gay *et al.* (2006), León *et al.* (2009), Garcia (2009) Brothers (2011, 2012, 2014) e afirmaram que é um conhecimento geral de que a formação das estruturas conhecidas como *pockmarks* está atribuída à infiltração de gás e/ou fluidos da sub-superfície marinha para o fundo submarino e seu subsequente escape na coluna d'água. Em ambientes próximos à costa as infiltrações de gás podem ocorrer de paleo-pântanos (fiordes e bacias), ou em águas profundas através de paleo-canais, que são ricos em fontes de matéria orgânica.

A migração do gás na sub-superfície acompanha zonas de alta permeabilidade e litologia porosa. O gás migra para camadas superiores até escoar para o leito submarino, a menos que uma dessas camadas seja impermeável e bloqueie seu caminho (SCHATTNER *et al.*, 2016).

Uma vez que a pressão do escape do gás diminua, uma depressão (*pockmark*) surgirá em formato circular. Caso não exista uma corrente prevalecente, os sedimentos ejetados durante o processo de formação da estrutura podem ser depositados novamente no assoalho marinho, dentro da própria *pockmark*, ou então ao redor dela num padrão simétrico. Do contrário, se existir uma corrente predominante, ela pode transportar e distribuir os sedimentos aleatoriamente, criando características assimétricas (GAFEIRA *et al.*, 2012).

Após o escape do gás a *pockmark* pode ficar inativa devido à diminuição da pressão, caso o estoque não seja suficiente para continuar a infiltração na superfície marinha. Estruturas inativas podem coletar sedimentos em suas paredes laterais ou então serem extintas por correntes de fundo que venham a erodir a superfície do assoalho marinho (SCHATTNER *et al.*, 2016).

Essas estruturas podem variar de alguns centímetros de diâmetro na zona costeira, como as registradas por Klein *et al.* (2014) na Lagoa da Conceição, até centenas de metros em água mais profundas, conforme apontam os trabalhos

realizados por Gafeira *et al.* (2012) e Mahiques *et al.* (2017), na plataforma continental de Santos. Conforme apresentado por Mahiques *et al.* (2017) *pockmarks* massivos, onde o escape do gás tem implicações mais extremas devido à alta liberação de energia, podem causar alterações na configuração geomorfológica do fundo marinho, podendo influenciar no afloramento de outras estruturas presentes nas subcamadas.

De acordo com Klein *et al.* (2014), *pockmarks* presentes nos sedimentos do leito marinho em áreas lagunares, estão associadas à acumulações rasas de gases que são consideradas originárias da metanogênese microbiana em ambientes anóxicos (BOETIUS, 2000, *apud* KLEIN *et al.*); sendo o metano listado como o gás de maior ocorrência nestes ambientes (HOVLAND & JUDD, 1988 *apud* KLEIN *et al.*, 2014).

Devido à forte relação espaço temporal entre *pockmarks* e a infiltração de gás, o aprimoramento do conhecimento dessas feições tem importante aplicação para estudos sobre mudanças climáticas, biodiversidade e biotecnologia, recursos minerais e ameaças geológicas (MAHIQUES *et al.*, 2017).

4.3 Geoacústica Marinha

A geoacústica se baseia na utilização e aplicação de equipamentos e métodos geofísicos para aquisição, investigação e análise de dados que contém informações sobre a configuração batimétrica, morfológica e também dos sedimentos do fundo submarino. A classificação das superfícies submersas a partir de dados de sonares é uma ferramenta que permite a visualização do fundo oceânico em diferentes escalas, representando cada uma delas diferentes informações a respeito do material e topografia deste fundo, permitindo a construção de modelos digitais de terreno com as diferentes classes representadas (BULLA & HARTMANN, 2009).

Os sonares utilizam o princípio de propagação de ondas acústicas através da coluna d'água, dentre eles, pode-se citar o sonar de varredura lateral, ecobatímetros mono e multifeixe, sonares batimétricos diferenciadores de fase (interferômetros) e perfiladores de subsuperfície (SOUZA, 2006; HARRIS & BAKER, 2011 *apud* PORPILHO, 2015).

De acordo com Matos (2005) o funcionamento desses equipamentos dá-se

pelo envio de um pulso acústico ao fundo oceânico, que reflete e volta para o receptor acoplado, o qual registra o tempo (t) de percurso da onda (Figura 8). Com essa informação e sabendo-se a velocidade do som (v) na água (que pode variar devido a salinidade, por exemplo) é possível determinar a profundidade (D) através da equação:

$$D = \frac{1}{2}vt$$

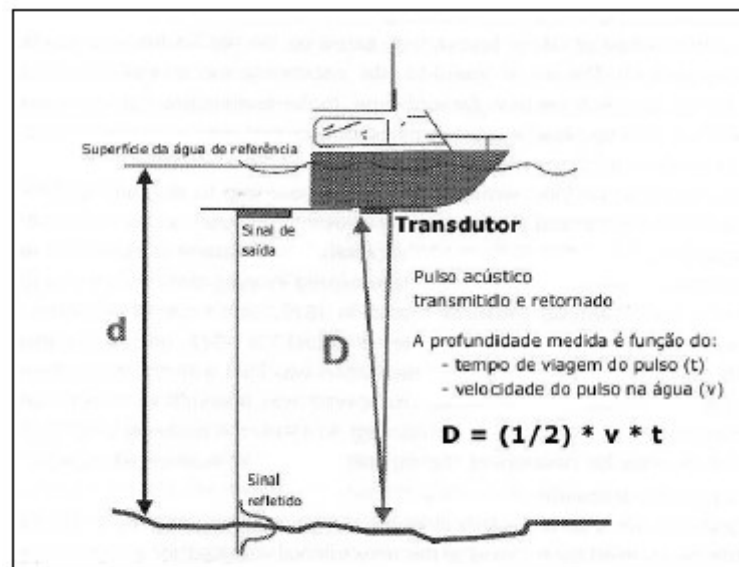


Figura 8: SONAR. Fonte: Matos, 2005.

Diferentes Frequências (medidas em quilohertz, kHz) são utilizadas para mapear diferentes profundidades: altas frequências (>100kHz) são empregadas onde a coluna d'água varia até 100m e, portanto, consideradas águas rasas; enquanto baixas frequências pouco menores 30 kHz são usadas em águas profundas (100-2000m). Frequências menores que 12 kHz atingem zonas abissais (BACKER & HARRIS, 2011). Ainda segundo Backer (2011), pulsos com frequências de ordem menores que 2-4 kHz possuem muito mais energia, parte dessa energia é refletida para o receptor do sonar, porém a onda penetra na sub-superfície marinha, sendo refletida por outras camadas inferiores possibilitando identificar diferentes rochas, estruturas e camadas sedimentares. Esses pulsos são utilizados para perfilagem sísmica da coluna estratigráfica.

Nesse trabalho foi utilizado um interferômetro, ou sonar batimétrico

diferenciador de fases, de alta frequência sem poder de penetração. Em seu trabalho Porpilho (2015) observou que este equipamento tem por finalidade o mapeamento de ambientes submersos rasos, com a intenção de gerar e transmitir o sinal acústico, derivando esta informação em dois dados, sendo o tempo de ida e volta e a intensidade do retorno do sinal, corrigida (sonar de varredura lateral) e bruta (retroespalhamento ou *backscatter*).

4.3.1 Interferômetro (Sonar de Varredura Lateral)

Este equipamento é fixado no casco da embarcação ou numa estrutura própria, de forma a se constituir múltiplas fontes de sinais acústicos para ambos os lados da rota de navegação (Figura 9), e em ângulos próximos, mas diferentes, que praticamente amostram 100% da área investigada, quando linhas paralelas são planejadas (SOUZA, 2006).

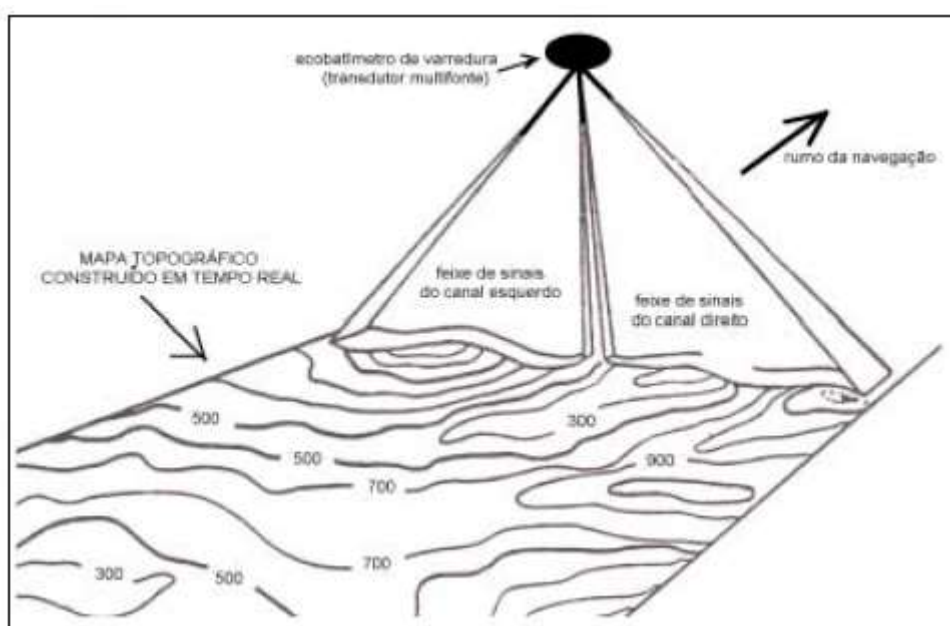


Figura 9: Ilustração do produto obtido de um sonar de varredura lateral. Fonte: Souza, 2006.

O interferômetro utilizado nesse trabalho possui os transdutores (emissores e receptores) nos dois lados do "peixe" (*sonar head*), que emitem os sinais eletroacústicos e determinam o ângulo de resposta do leito através da diferença de fase proporcionada pela distância entre os receptores, convertendo esta informação

em distância (Figura 10) e consequentemente em profundidade (PORPILHO, 2015).

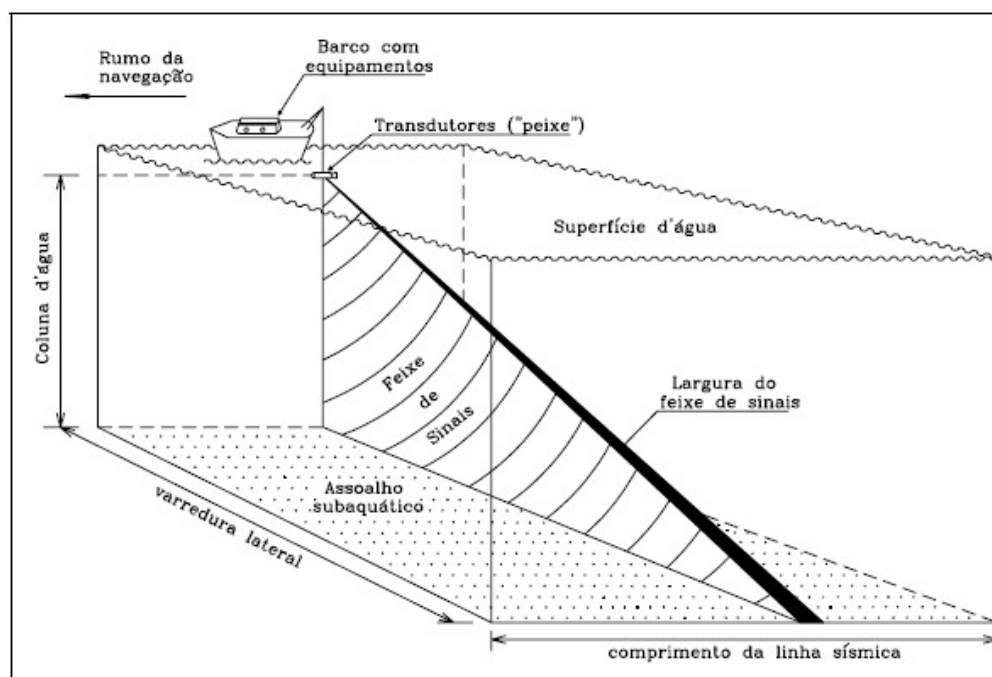


Figura 10: Geometria do sistema de aquisição de dados do sonar de varredura lateral. Vista do canal lateral esquerdo. Fonte: Souza, 2006.

De acordo com Souza (2006) são basicamente dois os mecanismos primários que permitem que o som emitido pelo sonar retorne ao transdutor: reflexão e *backscattering* (retroespalhamento).

A reflexão está relacionada com o sinal que atinge a superfície de fundo e retorna diretamente ao transdutor, numa reflexão total; o *backscattering* está relacionado com a interação entre a energia do som e a textura do material da superfície de fundo. A quantidade de energia que retorna ao transdutor está relacionada com o tipo de fundo e suas propriedades acústicas (impedância acústica etc.). Superfícies extremamente homogêneas favorecerão um baixo retorno dos sinais; superfícies heterogêneas, rugosas, propiciarão retorno do sinal com maior energia, pois neste caso maior será a probabilidade da existência de faces voltadas para o transdutor, o que evidentemente contribui diretamente para o aumento das reflexões totais do sinal emitido na direção do transdutor (SOUZA, 2006).

4.4 Sedimentologia

Suguio (2003) define a sedimentologia como o estudo dos depósitos de sedimentos e suas origens. Ela é aplicável em diversos tipos de depósitos: antigos, modernos, marinhos ou continentais; inclusive em seus conteúdos estuda texturas e estruturas, além da diagênese, evolução temporal e espacial.

Essa ciência é baseada na observação e na descrição de numerosas e intrincadas feições de sedimentos moles e duros em sequências naturais, seguidas de reconstrução dos paleoambientes de sedimentação em termos estratigráficos e tectônicos. A abrangência da sedimentologia marinha, considerando-se as principais pesquisas em andamento no mundo, é muito grande. Próximo à costa têm-se as pesquisas de profundidades do embasamento, de sucessivas posições ocupadas por vales soterrados, de erosão marinha de bancos arenosos, de deslocamentos de linhas de costa, etc.

Ainda segundo Suguio (2003), com a constatação da realidade das mudanças climáticas e dos níveis do mar durante o Quaternário, novos campos de pesquisa foram rapidamente incorporados. As mudanças climáticas da Terra, através dos tempos geológicos, resultam em geral de causas múltiplas e cíclicas. Pode-se afirmar que mudanças cíclicas nos níveis do mar teriam contribuído decisivamente nos terraceamentos do Quaternário e na estratigrafia dos sedimentos desta idade.

O estudo nesse trabalho envolve temas importantes de pesquisa em oceanografia, pois as mudanças climáticas governam as alterações nos processos de intemperismo, desagregação e/ou decomposição, erosão e transporte dos sedimentos por correntes costeiras, que interferem nos processos de sedimentação e conseqüentemente na estratigrafia e topografia submarina da zona costeira.

4.4.1 Granulometria

Pode-se considerar a análise granulométrica como sendo a técnica capaz de quantificar o tamanho e distribuição dos grãos e partículas presentes em um determinado depósito sedimentar (SUGUIO, 1973).

A análise da frequência de distribuição e tamanho das partículas sedimentadas,

fornece maiores informações sobre a origem dos sedimentos e indiretamente sobre quais condições hidrodinâmicas se encontram atualmente no assoalho marinho, assim como evidencia sob quais processos de sedimentação foram influenciados durante o processo deposicional ao longo do tempo geológico (SUGUIO, 1973; FLEMMING, 2005).

A textura sedimentar constitui um parâmetro importante em estudos sedimentológicos da zona costeira, pois a distribuição do tamanho de grão está vinculada à proveniência, às variações do nível do mar e aos processos hidrodinâmicos que atuam no sistema, podendo dessa forma auxiliar em estudos de transporte e dispersão de sedimentos (FIGUEIREDO, 2005).

4.4.2 Parâmetros Estatísticos dos Sedimentos

Segundo Martins (2003), os parâmetros do tamanho dos grãos (diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose) são uma ferramenta muito útil para a caracterização sedimentar dos ambientes, como praias, rios e diversos setores da zona costeira.

O diâmetro médio consiste no tamanho das partículas (FOLK & WARD, 1957). A granulometria dos sedimentos de praia, em geral, varia de areia muito fina a média, enquanto que a granulometria dos sedimentos fluviais varia de areia média a grossa (MARTINS, 2003 *apud* JESUS & ANDRADE, 2013). De acordo com a pesquisa de Figueiredo (2005), os sedimentos mais finos tendem a se acumular em ambientes de baixa energia, enquanto que os mais grossos tendem a se acumular em ambientes com alta energia.

O grau de seleção é uma medida de dispersão da amostra, ou seja, o desvio padrão da distribuição de tamanho: sedimentos bem selecionados implicam em grãos com pequena dispersão dos seus valores granulométricos. Segundo Folk & Ward (1957) os sedimentos praias derivados de uma mesma fonte serão mais bem selecionados do que sedimentos fluviais, devido à atuação dos agentes costeiros. (FIGUEIREDO, 2005).

A assimetria representa o grau de deformação da curva de frequência para a direita ou para a esquerda, quando os valores da moda, da média e da mediana forem iguais, a distribuição é considerada simétrica. No caso desses valores serem

diferentes, a distribuição é assimétrica. A assimetria positiva ocorre quando o valor da média é superior ao valor da mediana que por sua vez é superior ao valor da moda. Nesse caso, a cauda da curva de distribuição é mais acentuada para direita (grãos mais finos). A assimetria negativa ocorre quando o valor da média é inferior ao valor da mediana que por sua vez é inferior ao valor da moda (FOLK & WARD, 1957; DIAS, 2004, *apud* JESUS & ANDRADE, 2013).

A curtose consiste no grau de achatamento de uma curva em relação à curva representativa de uma distribuição normal (MARTINS, 2003, *apud* JESUS & ANDRADE, 2013). A curva de distribuição da curtose pode ser classificada como: platicúrtica (achatada), mesocúrtica (normal) ou leptocúrtica (alongada). A curva platicúrtica mostra um espalhamento de sedimentos mais finos e mais grossos nas caudas, indicando mistura de diferentes sub-populações. A ausência de espalhamento de sedimentos nas curvas leptocúrticas indica sedimentos bem selecionados na parte central da distribuição. Em geral, os sedimentos praias possuem curvas leptocúrticas, enquanto que sedimentos eólicos, curvas mesocúrticas. (JESUS, 2013).

4.5 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é baseado num conjunto de programas (*softwares*) e instrumentos (*hardware*) que permitem integração, análise e representação de dados espaciais, possibilitando a interpretação e obtenção sintetizada das informações em mapas (BURROUGH & MCDONNEL, 1998).

O termo é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica, ou seja, georeferenciados (BAUER NETO, 2007).

De acordo com Bonham-Carter (1994) o ambiente SIG está preenchendo uma lacuna na necessidade de enfrentar o rápido crescimento dos dados espaciais digitais dentro da Geociência. Muitas bases de dados estão sendo geradas por agências governamentais, companhias privadas e pesquisadores de universidades. Essas bases espaciais seriam pobremente utilizadas resultando num desperdício de recursos sem um *database* em ambiente SIG para realizar o geoprocessamento.

Imagens de satélite, por exemplo, sem um sistema digital de processamento não revelam seu verdadeiro potencial numa análise espacial da superfície terrestre. Segundo Bauer Neto (2007), com um SIG, é possível abordar os mais diversos temas, como gerenciamento de infra-estrutura, exploração de gás e óleo, segurança e saúde pública, gerenciamento de informação em tempo real, gerenciamento de recursos minerais, transporte e apoio logístico, análise e monitoramento ambiental, entre outros. Estas “informações” podem ser chamadas de fenômenos geográficos.

Fenômenos geográficos requerem dois descritores para representar o mundo real: *o que* está presente e *onde* está presente (BURROUGH, 1998). Em uma representação digital de um ambiente é simplificado a complexidade das suas entidades (elementos) abstraindo os recursos chave e suas propriedades (rios, estradas, jazidas minerais, etc.), registrando sua posição geográfica através de um sistema de coordenadas, com intuito de criar um modelo dessa área.

Burrough (1998) afirmou que com a ideia de fenômenos geográficos é possível formalizar a representação do espaço e as características do mesmo, uma vez que os modelos espaciais são simplificações da realidade. Eles representam um fenômeno real através de símbolos e gráficos sintetizados em um mapa.

Os modelos de dados geográficos são formalizações de como o espaço é descrito e divide-se em camadas (*layers*) que podem ser analisadas, interpoladas e registradas de maneira que seus atributos podem ser mensurados e analisados, resultando em representações gráficas.

O SIG realizou um tremendo impacto em muitos campos de atuação pois permite a manipulação e análise de diferentes *layers* (que contém os dados em *shapefiles*, arquivos georeferenciados), além de fornecer ferramentas de interpolação e modelagem da relação entre essas camadas de dados espaciais (BONHAM-CARTER, 1994).

4.5.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) representa o comportamento de um fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre. O MDT é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada propriedade vinculada à uma superfície real (LOPES, 1966 *apud* CAMPOS, 2011). Segundo Felgueiras (2000) os modelos digitais de terreno representam a variabilidade de um atributo, ou fenômeno geográfico, que ocorre dentro de uma região de interesse. Os dados de MDTs são de fundamental importância em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente de um SIG. Esses modelos são obtidos a partir de uma amostragem do fenômeno dentro da área de estudo.

As análises desenvolvidas sobre um Modelo Digital de Terreno permitem: visualizar o modelo em projeção geométrica planar; gerar imagens de nível de cinza, imagens sombreadas e imagens temáticas; calcular volumes de aterro e corte; realizar análises de perfis sobre trajetórias predeterminadas e; gerar mapeamentos derivados tais como mapas de declividade e exposição, mapas batimétricos, mapas de curva de nível e mapas de visibilidade. Os produtos das análises podem, ainda, ser integrados com outros tipos de dados geográficos objetivando o desenvolvimento de diversas aplicações de geoprocessamento, tais como, planejamento urbano e rural, análises de aptidão agrícola, determinação de áreas de riscos, geração de relatórios de impacto ambiental, entre outros (FELGUEIRAS, 2000).

4.5.2 Interpolador Vizinho Natural

Em todos os métodos de construção de modelos digitais de terreno faz-se necessário utilizar técnicas de interpolação. Essas são empregadas quando se necessita obter valores para células de uma malha quadrada a partir de uma triangular, quando se quer densificar a malha ou estimar valores em pontos internos da mesma, e outras situações (MATOS, 2001 *apud* MATOS, 2005)

Matos (2005) ressaltou que um princípio básico, compartilhado por todos os métodos de interpolação, é de que pontos mais próximos tendem a ter características mais semelhantes do que pontos mais distantes (BURROUGH, 1986).

A triangulação de Delaunay é o mais frequente método utilizado para

estabelecer os triângulos dentro de uma representação qualquer de pontos, para aplicar um método de interpolação. A configuração obtida tem a propriedade de que, uma circunferência qualquer definida pelos três pontos de um triângulo não contém qualquer outro ponto conjunto em seu interior (MATOS, 2005).

O método de interpolação de Vizinho Natural utiliza a triangulação de Delaunay e o diagrama de Voronoi (Figura 11) para descobrir uma vizinhança mais apropriada para a obter o valor de um dado ponto.

O diagrama de Voronoi considera a área de influência de um ponto amostral em relação a um conjunto de pontos de modo direto, formando polígonos associados às suas áreas de influência sem emprego da interpolação. Uma vez criados os polígonos, são definidos como vizinhos qualquer polígono que compartilhe um dos lados com o polígono amostral escolhido (CAMPOS, 2011).

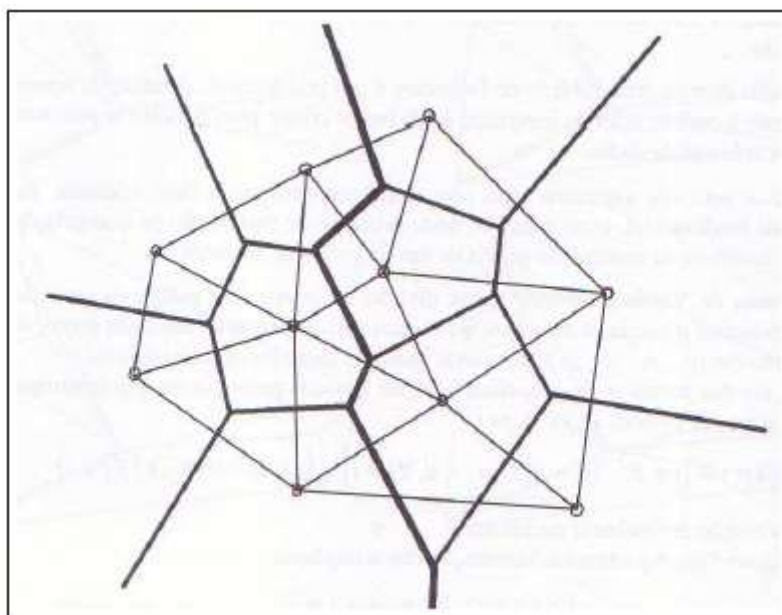


Figura 11: Diagrama de Voronoi e triangulação de Delaunay, fonte Matos (2005).

O algoritmo da ferramenta de interpolação por vizinho natural obtém os pontos mais próximos ou geometricamente mais convenientes em todas as direções. A subamostra e o ponto cujo valor será determinado formam os vértices dos triângulos, como se esse ponto fosse introduzido na triangulação (MATOS, 2005) (Figura 12).

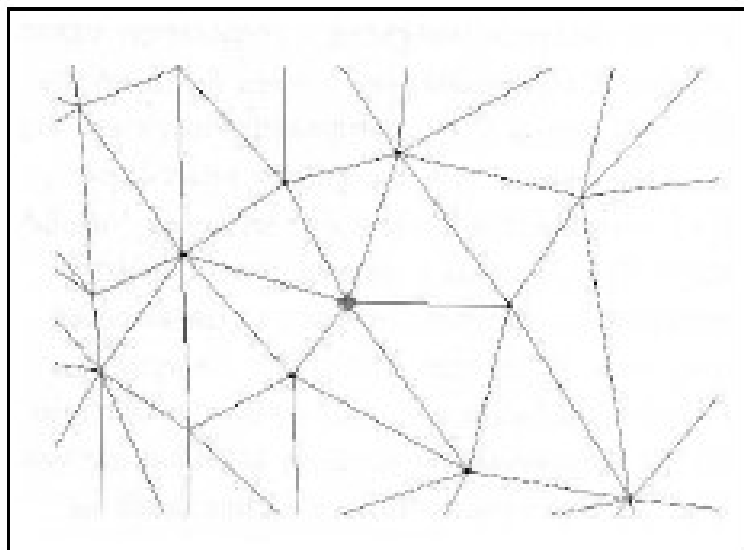


Figura 12: Interpolação de vizinho natural, fonte: Matos (2005)

Matos (2005) explica que outro aspecto importante nesse método de interpolação é seu esquema de pesos (figura 13). Os pesos são aplicados baseados na quantidade de área que seria “roubada” (proporcional à sobreposição dos polígonos de Voronoi formados pela subamostra) como se o ponto cujo valor se deseja estivesse sendo introduzido nesta.

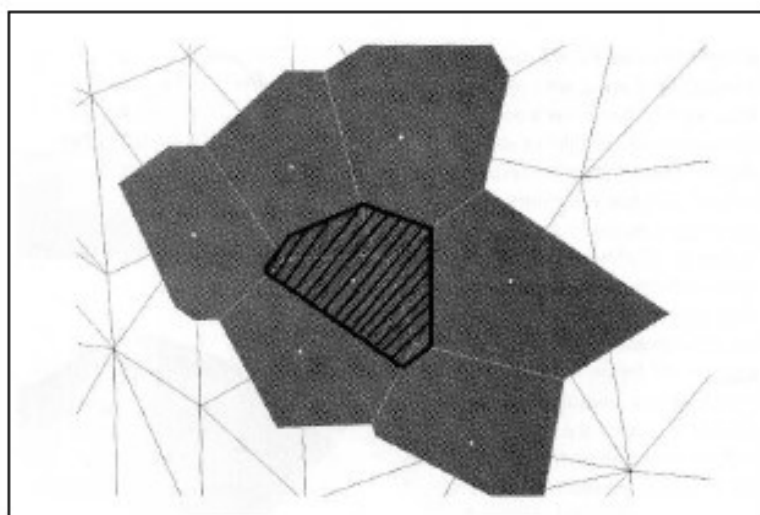


Figura 13: Esquema de pesos utilizado na interpolação de vizinho natural, fonte: Matos (2005)

4.5.3 Estimador de Densidade Kernel (KDE)

O Estimador de Densidade Kernel é um método não paramétrico (não exige suposições quanto à distribuição da variável populacional) que possibilita a estimação de curvas de densidades, onde cada observação é ponderada pela distância em relação a um valor central: o núcleo (NASCIMENTO, 2013).

No método de Kernel a distribuição de pontos é transformada em uma superfície de densidade para a identificação visual da ocorrência da concentração do evento, indicando locais de aglomeração, caso existam, bem como a forma como os dados se distribuem na região (BERTOLLA, 2015).

Bertolla (2015) inferiu que a estimativa Kernel depende de dois parâmetros: raio de influência (τ) e a função de estimação Kernel (k). O raio de influência define uma vizinhança de pontos utilizada para estimar o valor em um ponto “s”, sendo “s” uma localização genérica em uma região “R”, a ser interpolada. Já a função de estimação Kernel tem propriedade de suavizar o fenômeno. Seja “s” uma localização genérica em uma região “R” e “s_i”, $i = 1, 2, \dots, n$, as localidades de “n” eventos em “R”. Então a intensidade de “ $\lambda_\tau(s)$ ” em “s”, é estimada por:

$$\hat{\lambda}_\tau(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{(s - s_i)}{\tau}\right), s - s_i \leq \tau$$

Onde p parâmetro “ τ ” é o raio de influência que define a vizinhança do ponto “s” a ser representado espacialmente, o qual controla o alisamento da superfície gerada e (k) uma função de estimação Kernel com propriedades de suavização do fenômeno (BERTOLLA, 2015).

A função de estimação normal (ou Kernel Gaussiano) é a mais comumente utilizada e pesa os pontos dentro do círculo de forma que pontos mais próximos são pesados mais intensamente comparados aos mais afastados (SILVERMAN, 1986).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram selecionados dados batimétricos, sonográficos e sedimentológicos do setor central da Lagoa da Conceição. Os dados são oriundos de coletas realizadas entre 2013 e 2014 pelo Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC), Coordenadoria Especial de Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e processados pelo autor desta pesquisa.

A figura 14 apresenta o fluxograma esquemático da pesquisa:

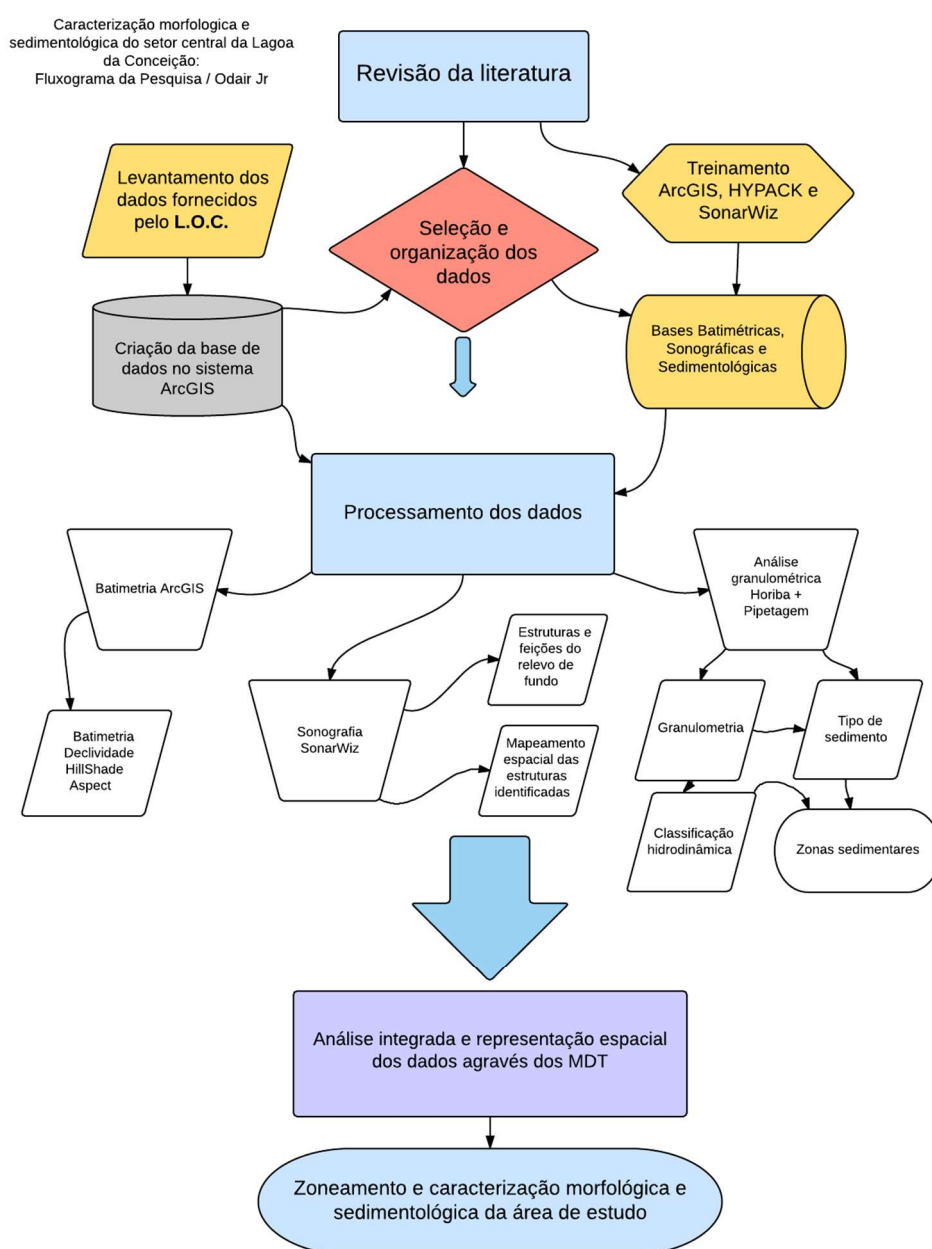


Figura 14: Fluxograma esquemático da pesquisa

Foram realizadas duas campanhas para a aquisição dos dados batimétricos e sonográficos, a primeira em 12/12/2013 e a segunda em 12/06/2014. Ambas fazem parte dos levantamentos realizados pelo projeto MMA-Riscos, financiado pelo Ministério do Meio Ambiente.

As especificações seguidas para a execução da campanha estão de acordo com as propostas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação publicadas na NORMAM-25, utilizadas para o planejamento prévio do traçado das isolinhas. O que garantiu 100% de sobreposição de fundo na área de coleta, proporcionando um levantamento classe B.

Foi utilizada a projeção UTM, Zona 22 Sul (54W-48W) e o elipsoide *datum* WGS-84 como sistema de referência para as linhas de navegação e a base cartográfica da carta náutica de número 1902 (disponível no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN), na escala de 1:100.000.

As amostras sedimentológicas são oriundas de uma saída de campo da disciplina de Sedimentação Marinha do curso de Oceanografia da UFSC e sua metodologia será descrita mais adiante nesse capítulo.

5.1 Equipamentos Utilizados

- EdgeTech 4600 – Interferômetro:

O sistema completo *EdgeTech* 4600 consiste no “peixe” (cabeça do sonar), que é posicionado submerso na coluna d’água através de uma estrutura metálica acoplada na lateral do barco, e na unidade de processamento (*Topside Processing Unit/TPU*) instalada dentro da embarcação (figura 15), a transmissão dos dados se dá via cabo. Os dados Batimétricos foram coletados através da interface do *software* Hypack e os sonográficos pelo Discoverer, ambos compatíveis com o sistema de *hardware*.

Através da técnica de interferometria o sistema totalmente integrado produz mapas de alta resolução do relevo (sonografia) submarino em tempo real, enquanto simultaneamente registra os dados batimétricos.



Figura 15: Sonar EdgeTech 4600: TPU (esquerda) e “peixe” (direita), fonte: Manual EdgeTech 4600.

A frequência de trabalho é 540kHz e o feixe de varredura funciona com uma abertura que atinge até 125 metros para cada lateral. A resolução de alcance máxima (*Range Resolution* - máximo espaçamento entre dois refletores) é de 15mm na sonografia enquanto atinge na batimetria a máxima de 30mm.

- MRU SMC IMU-108 (*Motion Reference Unit*):

O sensor de movimento foi instalado no centro de massa da embarcação. As especificações técnicas informadas pelo fabricante garantem acurácia angular estática de 0.002° rms; acurácia angular dinâmica de 0.03° rms; resolução angular de 0.001° ; resolução de *heave* de 0.01m; ângulo de alcance do *pitch/roll* de $\pm 30^\circ$; alcance do *heave* de ± 10 m; precisão do *heave* de 5cm ou 5%; acurácia dos acelerômetros de 0.01 m/s^2 rms. Esse equipamento é responsável pelo registro e correção dos movimentos da embarcação, no caso: afundamento (*heave*), arfagem (*pitch*) e jogo (*roll*), durante o período de coleta dos dados.

Quando a embarcação navega e sofre a influência do mar, a mesma fica sujeita a seis movimentos principais, três destes movimentos são translacionais ou lineares (*surge*, *sway* e *heave*) e os outros três são rotacionais ou angulares (*roll*, *pitch* e *yaw*) conforme mostra o esquema da figura 16:

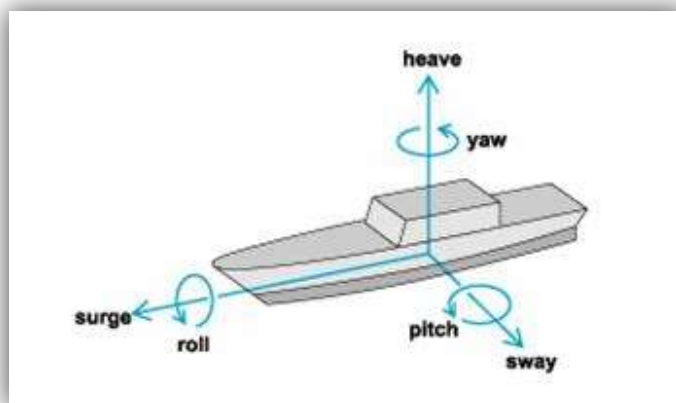


Figura 16: Movimentos da embarcação.

- DGPS Novatel FlexPak6 (*Differential Global Positioning System*):

Utilizado na definição da posição geográfica da embarcação, em específico para corrigir o posicionamento durante a execução da coleta de cada isolinha e auxiliar os softwares no histórico do posicionamento dos dados da amostra. As antenas foram instaladas espaçadas 1,5 metros entre si. Especificações técnicas: banda dupla L1/L2 com coleta de *heading* (norte verdadeiro); assinatura Omnistar XP com acurácia no posicionamento de 0,15m.

- SVP Odom Digibar S (*Sound Velocity Profiler*):

A velocidade de propagação do som varia de acordo com as diferentes características da coluna d'água, para um levantamento mais preciso foi utilizado um perfilador de velocidade do som durante o levantamento. O perfilador acústico tem a capacidade de mensurar as diferentes velocidades do som ao longo da coluna d'água e posteriormente seus registros são utilizados para correção no processamento dos dados batimétricos, afim de corrigir o tempo de reflexão do sinal acústico enviado pelo sonar. O alcance da velocidade é de 1400-1700 m/s com resolução da velocidade de 0,1 m/s e acurácia de 0,05 m/s.

5.1.1 Calibragem dos Equipamentos

Prévio ao início do levantamento foi necessário aferir os valores de *off-sets*, referenciando os equipamentos em relação ao centro de massa do barco e a linha d'água.

O interferômetro foi instalado conforme instruções do fabricante, utilizando uma estrutura criada especificamente para esse equipamento pela equipe do LOC, que é removível e pode ser instalada em outras embarcações, conforme necessidade (figura 17)

Mediu-se as distâncias (vertical e horizontal) em que a “cabeça” do sonar foi instalada (porção submersa, ou “peixe”), a distância deste e da base das antenas (localizadas no topo do mastro da estrutura da instalação), com relação ao sensor de movimento (MRU), a altura da antena em relação ao MRU, e também do MRU com relação à linha d'água.

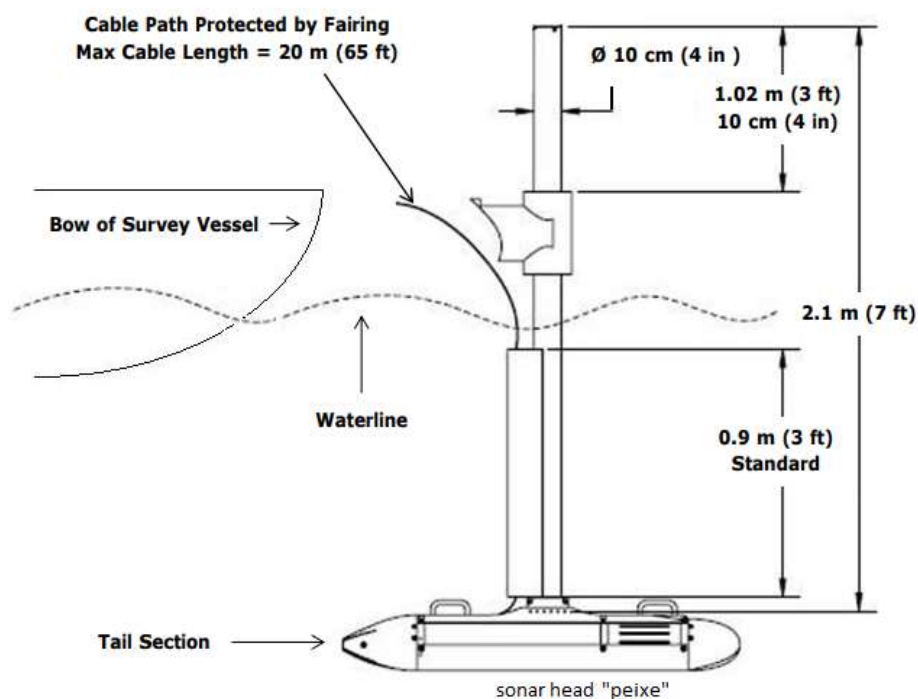


Figura 17: Esquema de montagem do interferômetro segundo instruções do fabricante. Fonte: Manual EdgeTech 4600, adaptado.

Seguindo o processo foi realizada, já em campo com todos os equipamentos montados e referenciados (figura 18), a calibragem dos equipamentos (*patch test*) que consiste na avaliação dos parâmetros de latência, *pitch*, *roll* e *yaw*. O propósito do *patch test* é a correção dos erros sistemáticos da coleta dos dados, provenientes do posicionamento e ângulos em que os diferentes sensores foram montados. Os valores foram calculados e inseridos no *software* do *EdgeTech* para correta aquisição dos dados.



Figura 18: Monitores do equipamento (esquerda) e embarcação utilizada na coleta de dados com o “peixe” instalado na lateral, ancorado através da estrutura desenvolvida para o mesmo. (direita).
Fonte: Porpilho, 2015.

5.2 Seleção e Organização dos Dados

A compilação dos elementos amostrados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) foi feita através da criação de uma base de dados no software ArcGIS, onde foram integradas as bases batimétricas, sonográficas e sedimentológicas disponíveis.

Com intuito de representar a distribuição contínua das feições morfológicas e distribuição de sedimentos, relacionados ao sistema de deposição que expressa a configuração do relevo submerso atual, foram utilizadas representações sintetizadas cartograficamente por meio de modelos digitais de terreno (MDTs), análises gráficas e estatísticas.

5.3 Processamento dos Dados

O processamento dos dados foi realizado utilizando *softwares* específicos para cada tipo de dado, estes, serão descritos nos próximos capítulos do trabalho.

Posteriormente, toda gama de dados, devidamente tratados para inserção no ambiente SIG, foi interpolada de maneira a expressar visualmente os resultados por meio de imagens georeferenciadas da área de pesquisa e gráficos fundamentais de análise de comparação, distribuição e densidade espacial das feições encontradas e relevo de fundo.

5.3.1. Batimétricos

Foi adotada a Carta Topográfica elaborada em 2002 em escala 1:2.000 pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) e digitalizada pelo LOC.

Primeiramente foram inseridos os pontos batimétricos da porção total da Lagoa da Conceição, oriundos da carta topográfica do IPUF, na base de dados do ArcGIS. Através da criação de um polígono seguindo uma imagem georeferenciada da laguna, foi digitalizada a linha de costa da mesma. Os pontos da linha de costa foram parametrizados de maneira a possuir profundidade zero. Os pontos batimétricos da carta do IPUF precisaram ser reajustados ao contorno da linha de costa, pois o *shapefile* encontrava-se minimamente deslocado (provavelmente devido à uma diferença entre os *datum* utilizados, no atual trabalho o sistema de referência é o WGS-84). Menos de 50 pontos, do total de 15 mil, remanesceram fora ao contorno digitalizado e foram então excluídos para não influenciarem na confecção dos mapas de análises.

Para interpolação dos pontos batimétricos foi utilizado o método *Natural Neightboors* ou Vizinho Natural, ferramenta disponível na aplicação de análises 3D do ArcGIS.

Também foi utilizada a ferramenta de análise espacial do ArcGIS para visualização da declividade (em graus) relativa ao resultado da batimetria. Para melhor visualização foi utilizada o separador de classes *quantile* com 20 classes amostrais visando atenuar os pontos de maior resposta à análise. Da mesma maneira foi criado mapa de orientação de vertentes.

5.3.2 Sonográficos

O processamento dos dados de sonografia foi realizado através do *software* SonarWiz6®. Primeiramente foram importados os arquivos gerados pelo Discoverer (*software* do equipamento EdgeTech), totalizando 230 linhas (sonogramas) de varredura lateral, equivalentes à aproximadamente 1,77km² (figura 19).

As linhas foram então ajustadas utilizando ferramentas de ganho visual (AGC - *Automatic Gain Control*), preservando os realces naturais dos sonogramas para evitar o comprometimento das feições e padrões interpretáveis.

Foram então selecionadas as linhas visando cobertura com 100% de sobreposição (totalizando 190 linhas), devido à baixa profundidade da área de estudo a sobreposição chegou a 300% (figura 20) e foi considerado desnecessário o processamento do total de dados, pois o mesmo local estaria sendo analisado diversas vezes, podendo causar erros na interpretação dos resultados.

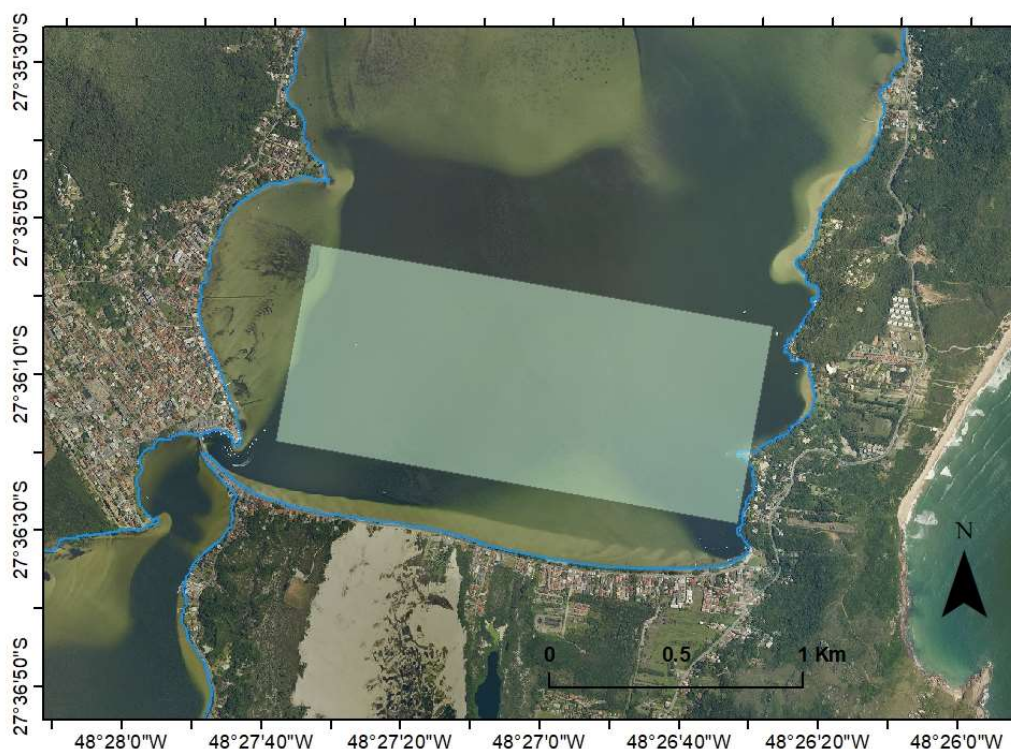


Figura 19: Em destaque a área do levantamento sonográfico realizado com o interferômetro.

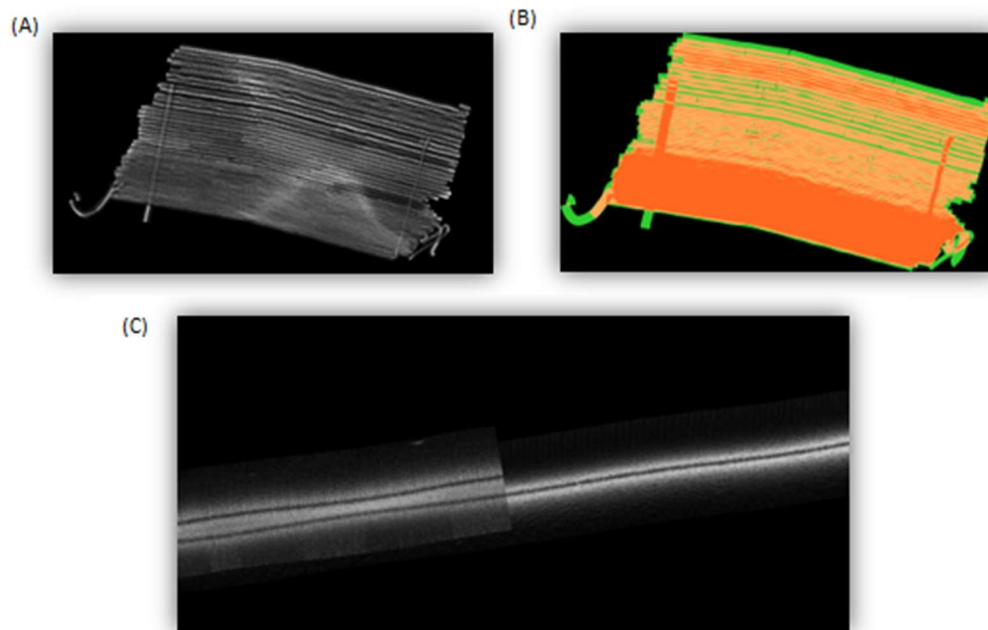


Figura 20: (A): mosaico da interferometria com sobreposição; (B): gráfico da sobreposição (verde: 100% de cobertura, salmão: 200% de cobertura, laranja: 300% de cobertura); (C): exemplo de e sobreposição dos sonogramas.

Sequencialmente foi realizado em cada linha o *bottom track*, que tem por finalidade o reconhecimento e identificação do leito submerso, tal ferramenta está disponível no SonarWiz6® e consiste na técnica de localizar contrastes na imagem gerada pela sonografia e basicamente excluir a coluna d'água (os erros são ajustados manualmente) de maneira a criar uma imagem continua das feições de fundo, proporcionando um mosaico de toda a cobertura amostrada, o que auxilia na identificação das feições associadas ao leito. Após a aplicação do *bottom track* foi exportado para o ArcGIS um mosaico em formato de imagem georeferenciada, posteriormente incorporado ao Google Maps, com melhor resolução.

O *software* SonarWiz6® também foi utilizado para o georeferenciamento das estruturas conhecidas como *pockmarks*, encontradas em grande parte da área amostrada pela sonografia.

A partir do uso da ferramenta *Contact Manager* foram identificadas visualmente as *pockmarks* encontradas nos sonogramas, e marcados individualmente como pontos referenciados por coordenadas UTM (figura 21). Posteriormente por meio de exportação em planilhas Excel, referentes à linhas individuais dos dados do SonarWiz6®, foi integrado no sistema ArcGIS as coordenadas (x,y,z) de cada ponto, gerando um *shapefile* contendo a localização espacial de todos os pontos mapeados.

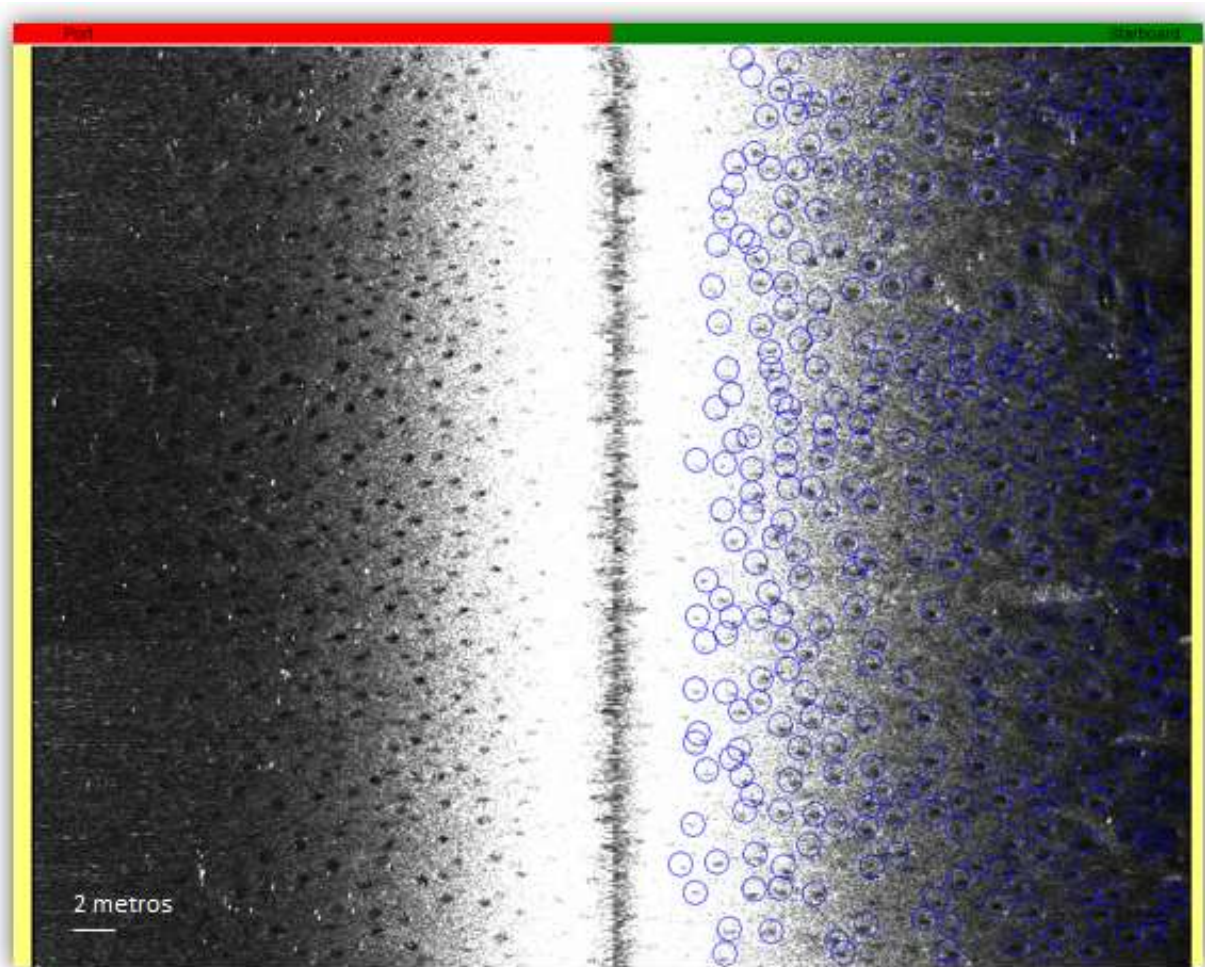


Figura 21: Mapeamento das pockmarks (circuladas em azul) utilizando a ferramenta Contact Manager.

Para evitar duplicação na marcação das *pockmarks* foram escolhidas linhas (sonogramas) com 100% de cobertura e utilizando apenas um lado da imagem do sonar. No caso, quando a direção da navegação ocorreu para Oeste utilizou-se da porção *port* (estibordo) da imagem do sonograma e a porção *starboard* (boreste) para o deslocamento em direção Leste. Nessa metodologia as linhas mutualmente encaixadas se completaram, de forma a se obter um mosaico que expressasse a cobertura real das *pockmarks* (figura 22).

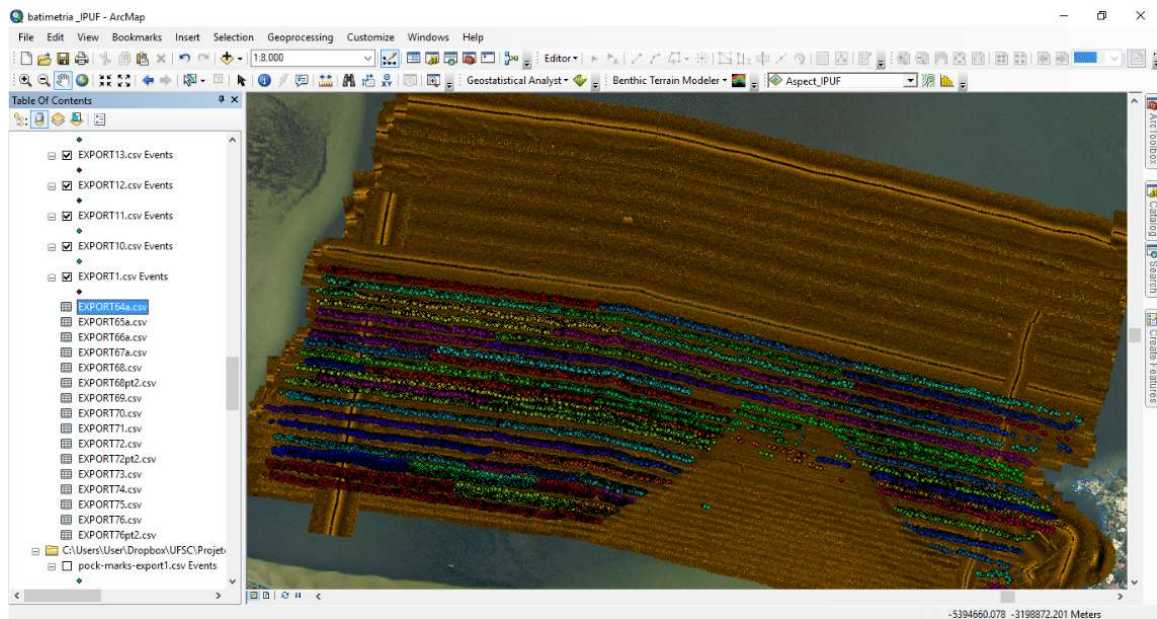


Figura 22: Interface do software ArcGIS com pontos referentes ao mapeamento espacial das pockmarks, cada cor corresponde a diferentes linhas importadas do SonarWiz6®.

A análise de distribuição dos *pockmarks* foi realizada no ArcGIS através do método da densidade Kernel, utilizando-se um raio de 100 metros e K normal (equação gaussiana), disponível na ferramenta *Spatial Analyst Tools* do *ArcToolBox*.

Outras feições e estruturas de fundo encontradas também foram identificadas e catalogadas pela ferramenta *Contact Manager* e serão apresentadas diretamente nas imagens do sonograma nos resultados da pesquisa (figura 23).

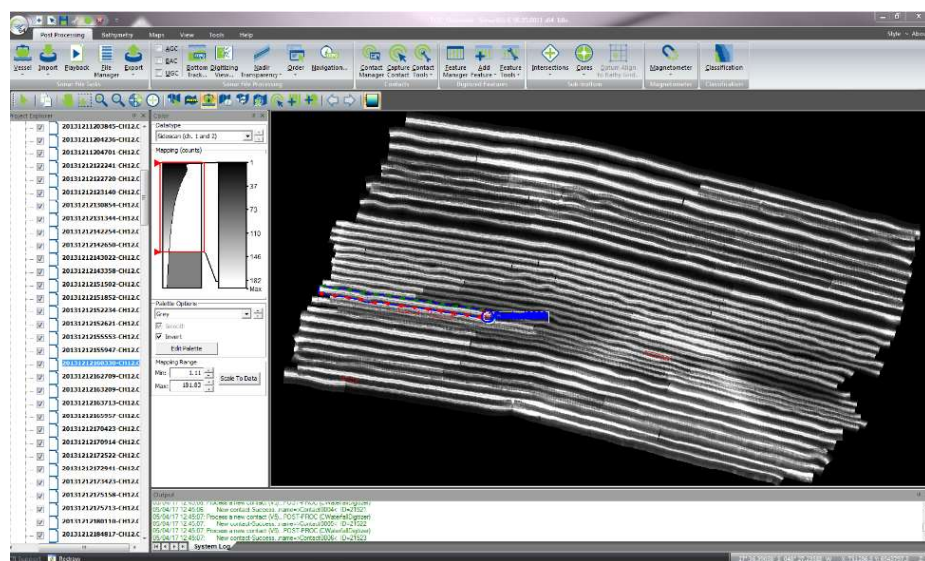


Figura 23: Linhas (sonogramas) selecionadas para o estudo da área de pesquisa, interface do SonarWiz6® em escala cinza.

5.3.3 Sedimentológicos

As amostras foram obtidas durante uma saída de campo da disciplina Sedimentação Marinha, ministrada pela professora Carla Bonetti, também pesquisadora do LOC, realizada no dia 02 de julho de 2013 pelo curso de oceanografia da UFSC. Foi coletado um total de 20 amostras de sedimento de fundo com um amostrador de mandíbula do tipo Petersen, modificado para coleta de material grosso, enquanto para coleta de material fino utilizou-se um amostrador do tipo Eckman Tall.

Foi empregada uma malha regular pré-definida para distribuição das estações de coleta, e suas coordenadas obtidas por meio de um GPS Garmin, conforme ilustra a figura 24.

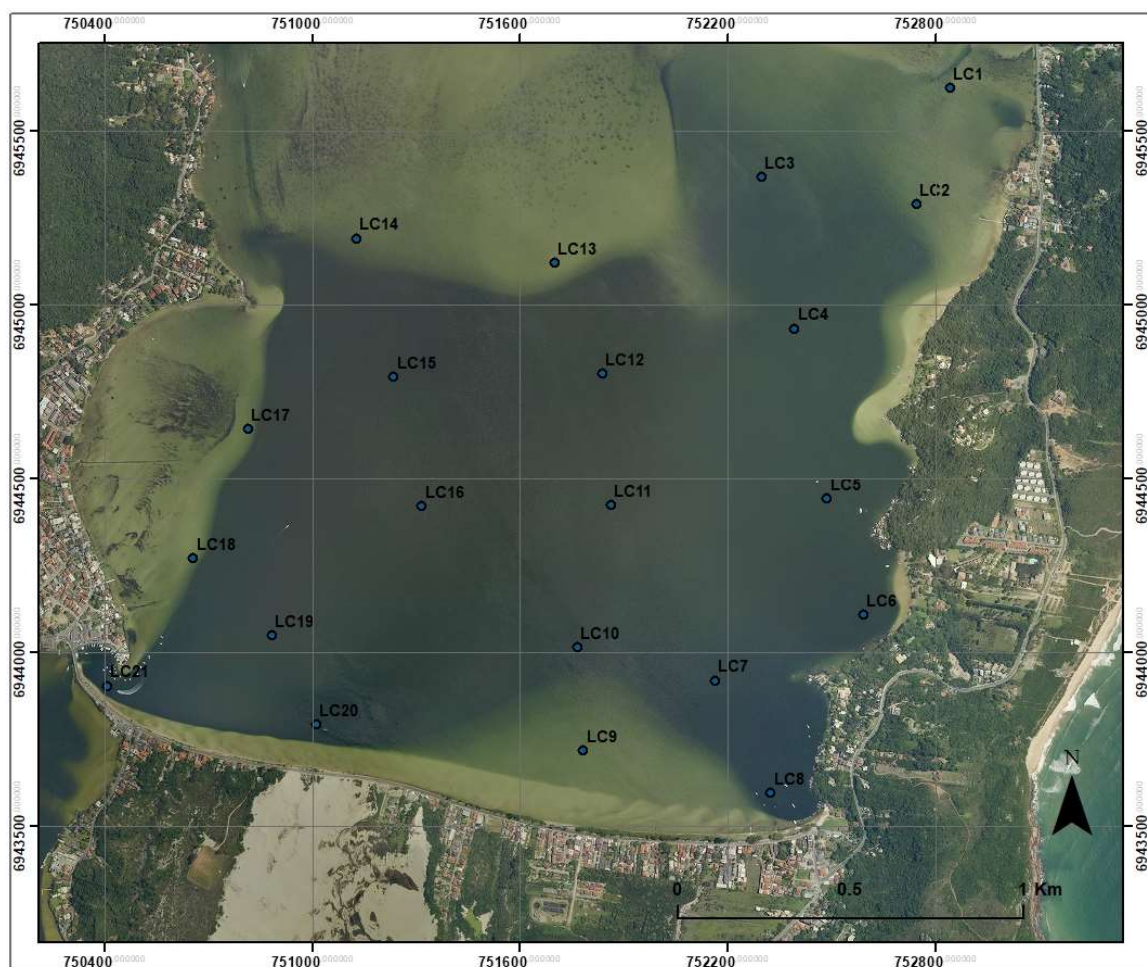


Figura 24: Localização dos pontos de coleta.

O material oriundo das coletas realizadas em 2013 estava guardado e etiquetado no laboratório de análises granulométricas do LOC, já com as etapas de

queima da matéria orgânica e dissolução do material biodegradável realizadas, e foram utilizadas para o processamento granulométrico. As amostras LC4, LC15, LC16 e LC20 possuíam a base amostral congelada e foram também analisadas com a presença de matéria orgânica e material biodegradável.

As amostras foram processadas pelo autor utilizando o analisador de tamanho de partícula Horiba LA-950, que realiza o dimensionamento destas através da técnica de difração da luz (laser e LED). O equipamento possui duas fontes de luz com diferentes comprimentos de onda, uma com 650 nm (vermelha) e outra com 405 nm (azul) e se baseia no princípio que o ângulo de difração é inversamente proporcional à dimensão da partícula (Manual Horiba LA-950, 2012).

Os resultados estatísticos foram organizados em planilhas no software *Excel* (2010) e posteriormente analisados através do programa Sysgran, o qual calcula os parâmetros das amostras aritmeticamente, geometricamente e logaritmicamente (em unidades Phi). Através dos parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), foram obtidas as representações granulométricas do diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose.

Em adição aos dados granulométricos, as porcentagens de silte, areia e argila foram utilizadas na obtenção da distribuição textural da área de estudo e elaboração dos gráficos de distribuição granulométrica nas amostras. Para realizar a análise textural também foram confeccionados diagramas triangulares no *software* Sysgran, segundo a proposta de Flemming (2005), com intuito de zonear a área de pesquisa de acordo com suas características hidrodinâmicas.

5.4 Integração dos Dados

Os dados sedimentológicos, batimétricos e sonográficos foram, neste trabalho, integrados e analisados de forma a se obter diferentes representações espaciais, a distribuição das propriedades dos sedimentos e relevo de fundo foram comparados através de técnicas estatísticas e mapas de correlação espacial entre as variáveis selecionadas, com intuito de categorizar a área de estudo morfologicamente e sedimentologicamente, assim como tentar explicar a atual configuração das feições presentes.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Batimetria, Declividade e Orientação de Vertentes

Nas figuras 25, 26 e 27 estão apresentados os modelos digitais de terreno referentes à batimetria e declividade, respectivamente.

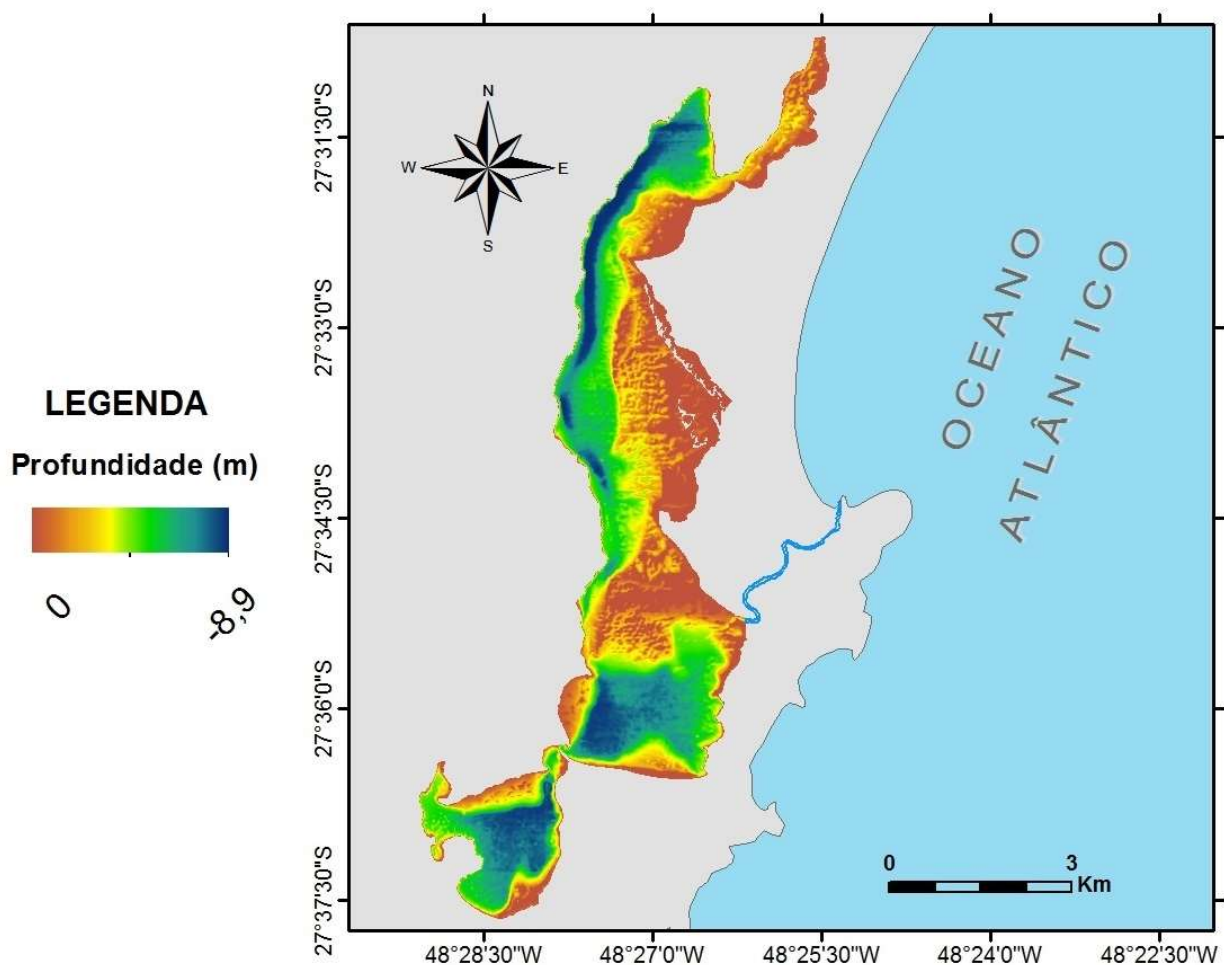


Figura 25: Batimetria da Lagoa da Conceição baseada no levantamento topográfico do IPUF.

A profundidade média na lagoa é de 2,80m e apresenta um valor máximo de 8,89m no setor noroeste (Lagoa de Cima), onde é limitada pelo embasamento cristalino rochoso. Esse trecho expressa as maiores profundidades do complexo lagunar, variando a partir dos 4,5m. Também pode-se observar na porção leste da Lagoa de Cima que lamina d'água tem uma espessura de 1m a 4,5m e existe formação de um pequeno arquipélago de ilhas isoladas. Ainda na porção leste existe

a formação de um grande banco de areia que se estende até a Lagoa do Meio (Setor Central), com sua face inclinada para Oeste na Lagoa de Cima e Sul no Setor Central.

No Setor Central da laguna podemos observar profundidades que variam aproximadamente entre 1 a 5,5m, podendo atingir 6m na região do canal de circulação que conecta a Lagoa de Baixo ao complexo lagunar. A partir da batimetria pôde-se delimitar um banco na margem Oeste e é possível notar igualmente a existência de um outro banco na porção sudeste, adjacente à Av. das Rendeiras, sendo que este apresenta-se levemente deslocado para a direita em relação a frente do campo de dunas da Joaquina.

A Lagoa de Baixo apresenta variação de 1m a 5,5m, concentrando maiores profundidades na região central e próximo ao Morro do Badejo, enquanto as margens norte e sudeste apresentam dois bancos e estão associadas à menores profundidades.

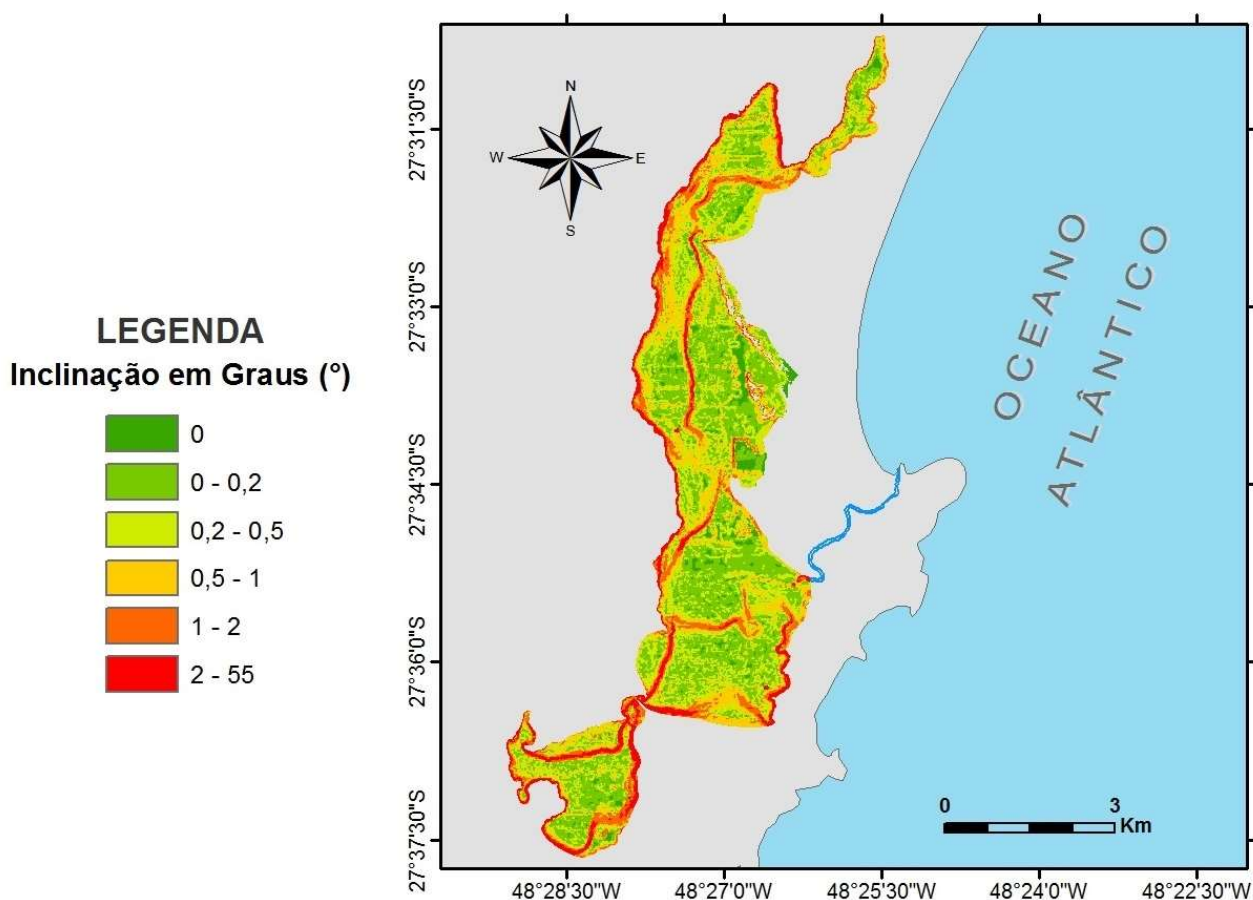


Figura 26: Mapa de declividade da camada de fundo da Lagoa da Conceição .

As regiões de maior declividade estão associadas às extremidades dos bancos do complexo lagunar, onde há um aumento abrupto da profundidade e a inclinação pode atingir 55° , assim como na margem oeste da Lagoa de Cima, porém associada ao complexo rochoso. De forma geral o leito do sistema lagunar apresenta-se com poucos desníveis com uma média de $0,7^\circ$ de declive.

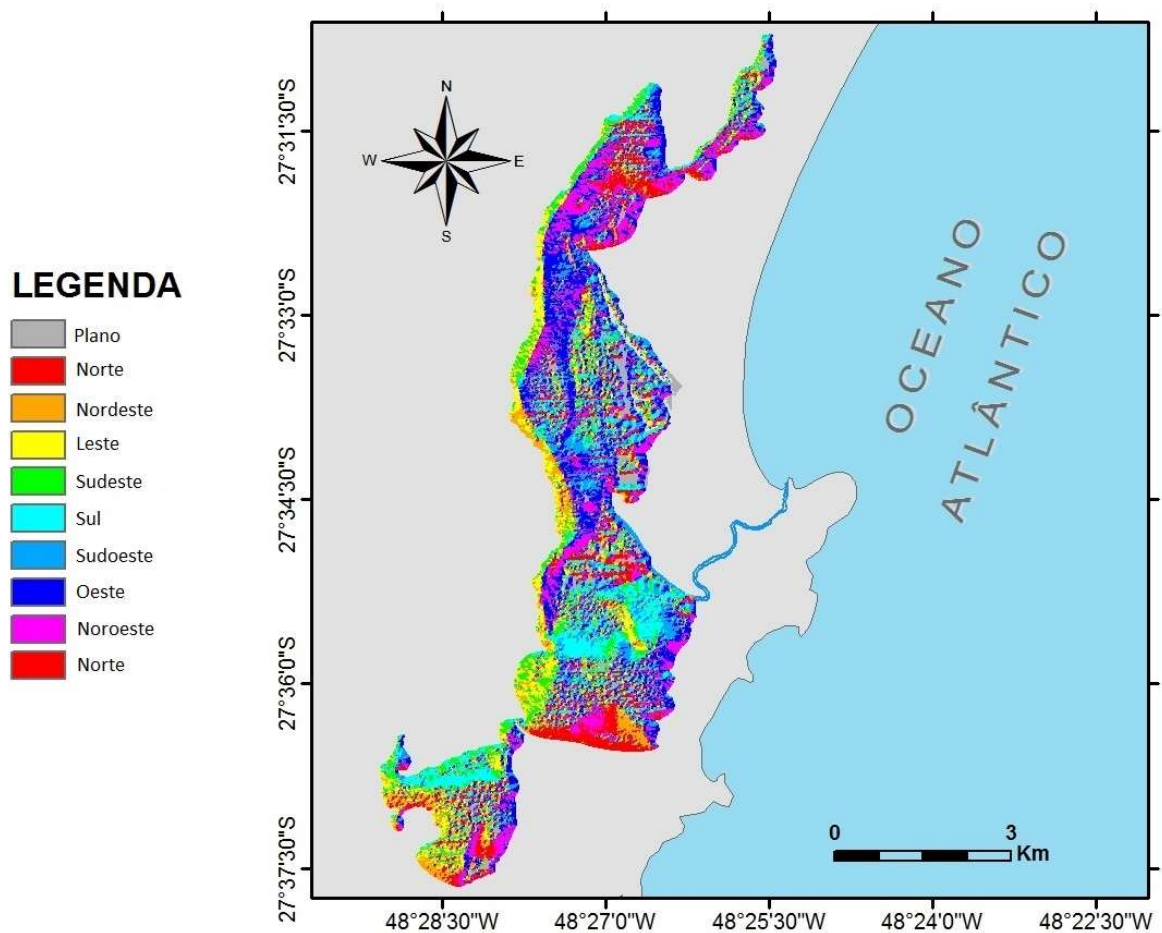


Figura 27: Orientação de vertentes do fundo da Lagoa da Conceição.

As direções de orientação das declividades do terreno submerso apontam um fundo bastante homogêneo nas áreas de baixa declividade ($<2^\circ$), e evidenciam a presença dos bancos delimitados no mapa batimétrico. Estatisticamente, a média aponta uma inclinação geral do leito tendendo para direção Sul-Sudoeste (aprox. 194°).

6.2 Mosaico da Sonografia e Feições Associadas

O mosaico totalizando as linhas (sonogramas) da base de dados e feições identificadas está representado na figura 28. O produto final confirma as características esperadas a partir da análise de imagens de satélite disponíveis no Google Earth (anexo II) e do MDT da batimetria referente à área de estudo, revelando um assoalho que pode ser considerado bastante homogêneo morfologicamente.



Figura 28: Mosaico da área de sonografia e localização das feições identificadas.

Foi evidenciada a existência de um grande banco presente a sudeste do Setor Central (feição 2 – sudeste, figura 29 e 30), paralelo à Av. das Rendeiras (SC-406), limite sul do setor central. A origem do banco pode estar ligada ao campo de dunas da praia da Joaquina, que se estende do setor central até ao limite sul da Laguna. Pode-se observar que o mesmo não se encontra atualmente projetado na mesma direção da frente do campo de dunas (o deslocamento ocorre no corte da SC-406). É possível que sua formação seja consequência do transporte eólico dos sedimentos oriundos das dunas ao longo do desenvolvimento da laguna e a ação antropogênica na região (urbanização, pavimentação, etc.) pode ter sido responsável pelo recorte na área de cobertura do campo de dunas; ou ainda apenas um processo natural ocasionado pela vegetação, responsável pela estabilização das dunas.

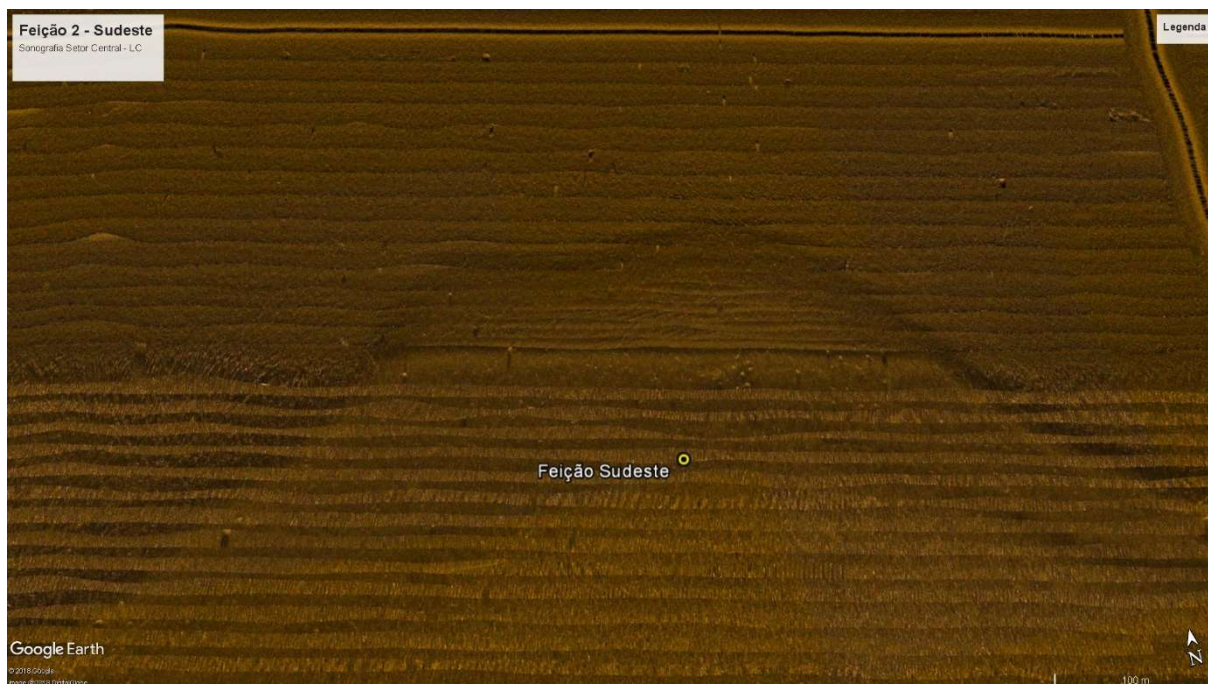


Figura 29: Feijão 2 - Sudeste.



Figura 30: Visualização espacial da feijão 2, refletindo o deslocamento em relação a frente do campo de dunas (orientação invertida do mapa).

Estruturas que se assemelham a *ripple-marks* (Figura 31 e 32, Feijão 1 - Noroeste) estão presentes a noroeste do mosaico. Por não apresentarem continuidade, é esperado que possam vir a ser erros na coleta dos dados, associados

a curva salina da coluna d'água ou foram camufladas pelo sinal de *backscatter*, logo abaixo do “peixe”. Devido à baixa profundidade na área da coleta existe grande reflexão do fundo e os sonogramas apresentam um alto ruído, em razão da rugosidade do material sedimentado, que mascara as informações.

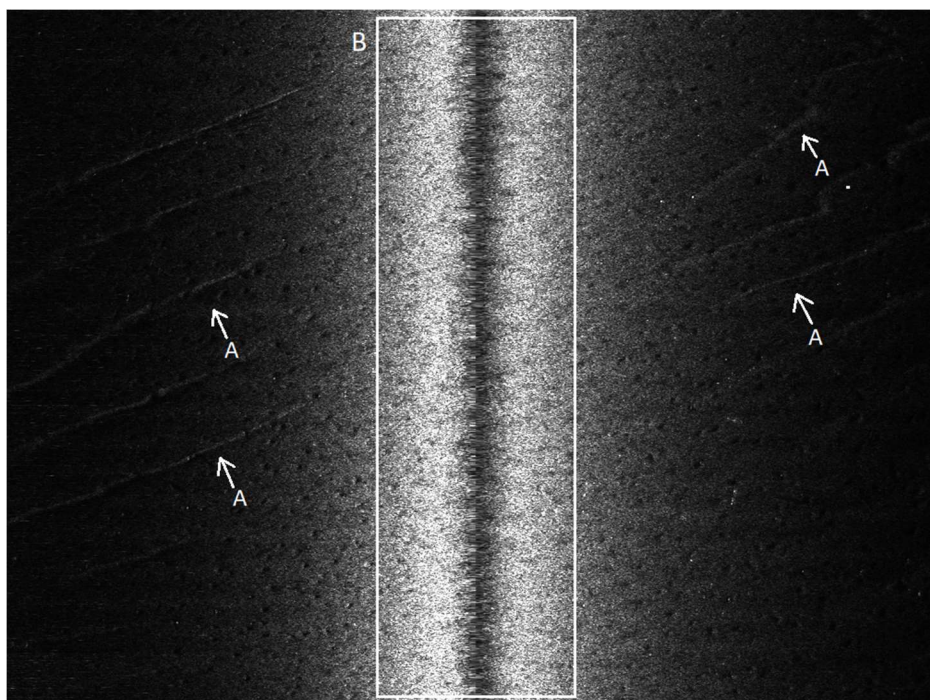


Figura 31: Sonograma apresentando (A) possíveis ripple-marks e (B) zona de ruído abaixo do “peixe”.



Figura 32: Feição 1 – Noroeste.

Em muitos sonogramas também foram notados “blanks” no sinal recebido (Figura 33), esses vazios acústicos podem estar associados a formação de bolhas de gás metano na coluna d’água, e caso confirmadas podem indicar que o processo de escape de gás continua ativo na Lagoa da Conceição. Esse fato corrobora, não isolado e exclusivo, porém somado as demais influências antropológicas e hidrodinâmicas, as características de ambiente redutor dominante na porção bêntica da coluna d’água.

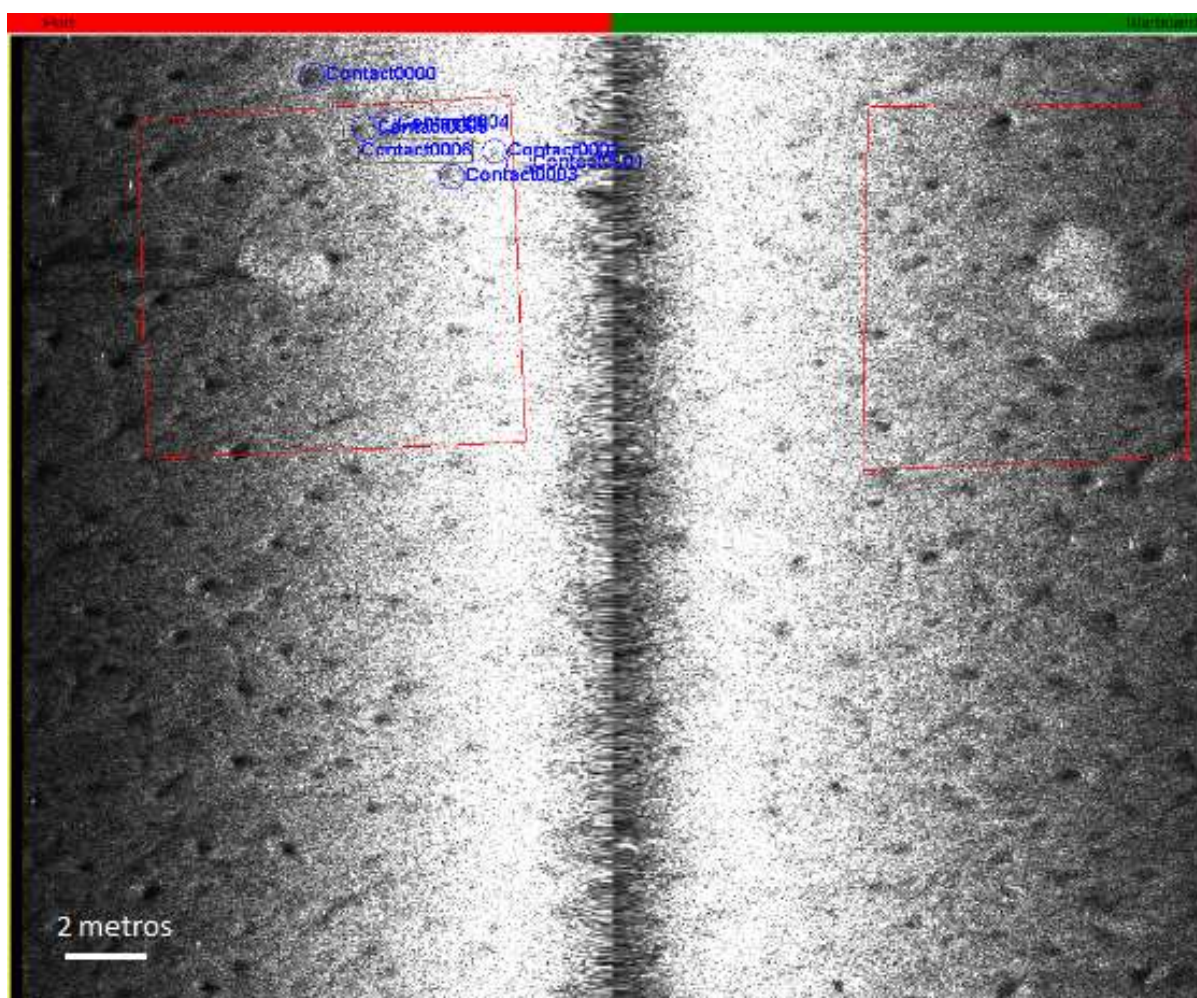


Figura 33: Sonograma com evidências de gás sendo liberado para a coluna d’água em forma de bolhas (área rachurada em vermelho).

Pelas imagens da sonografia é possível afirmar que existe um campo massivo de *pockmarks* que se estende por toda área de estudo e provavelmente por todo Setor Central da Lagoa em profundidades maiores que 4m. As características morfológicas ao longo da laguna são bastante semelhantes, pode-se dessa maneira inferir que as

pockmarks venham estar presentes por todo assoalho submarino onde as condições são semelhantes do campo Setor Central.

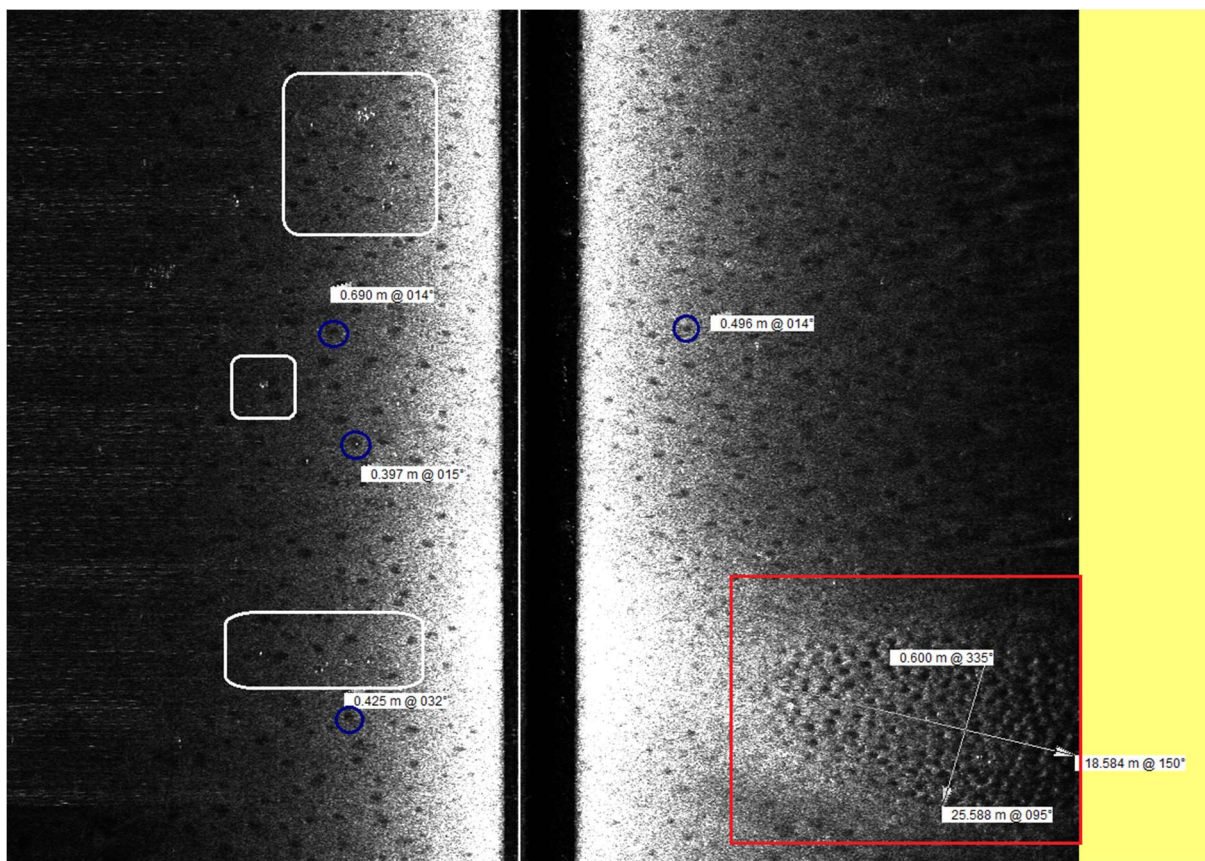


Figura 34: Sonograma apresentando pockmarks (azul); chaminé de pockmarks (vermelho); possíveis bolhas na coluna d'água (branco), e medições no diâmetro das estruturas.

Também foi localizado um adensamento de *pockmarks* fora do padrão no setor leste (figura 34, feição 2 - Leste), com topografia levemente mais alta em relação ao seu entorno, de formato elíptico, medindo aproximadamente 25,5m no maior diâmetro e 18,5m no menor. É possível que esta feição esteja relacionada a uma zona da camada estratigráfica de menor permeabilidade na sub-superfície, o que proporcionou o aprisionamento do gás até um momento onde o aumento da pressão gerou o escape com maior intensidade, criando uma espécie de “chaminé de *pockmarks*”; ou ainda, relacionada à uma região de alta permeabilidade, funcionando como um “ralo” para o escape de gás, possibilitando a aglomeração das estruturas.

6.2.1 Estruturas de Escape de Gás

Os dados dos sonogramas indicaram a presença de aproximadamente 54 mil depressões circulares (*pockmarks*) em profundidades variando de 3m a 6m, com um diâmetro médio de aproximadamente 52cm. Apenas 0.4% das estruturas foram encontradas em isóbatas menores que 4m, totalizando 9.9% localizados em profundidades entre 4m a 4,5m; 32.6% entre 4,5m a 5m; 48.4%, sendo a maior concentração, entre 5 a 5,5m e 8.7% atingindo a classe dos 6m. (figura 35).

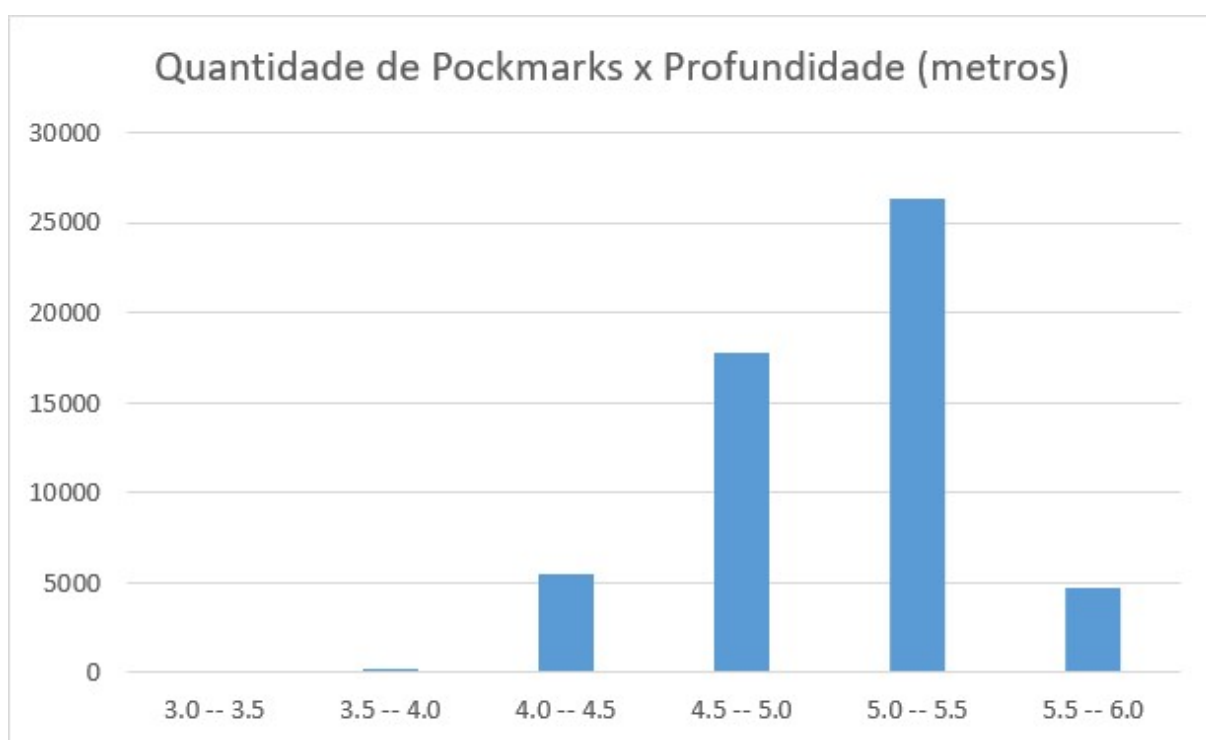


Figura 35: Distribuição das pockmarks em relação a profundidade.

Nesse contexto, pode-se concluir um controle batimétrico em relação a presença de *pockmarks*. As estruturas estão presentes, em geral, em profundidades maiores que 4m, sendo evidente sua concentração a partir dos 4,5m. Vale ressaltar ainda que as informações do quadro em relação à classe de 5,5 à 6m representa uma porção restrita da topografia de fundo do Setor Central, e, portanto, não esclarece uma diminuição quantitativa na concentração das *pockmarks* nessa isóbata, apenas sendo um indicador da presença das mesmas nessa profundidade.

É provável que o campo de *pockmarks* se estenda por todo assoalho da Lagoa da Conceição, seguindo o padrão de controle batimétrico descrito anteriormente,

estando associadas à regiões do fundo com menor circulação hidrodinâmica e efeito de correntes, fortalecendo a hipótese de um ambiente redutor nas áreas mais profundas da laguna.

Uma estimativa numérica em relação a distância relativa dos pockmarks indicou um espaçamento médio de 0,83 m entre si. A cobertura na área de estudo é praticamente total quando consideradas profundidades maiores que 4,5m. Esse padrão foi confirmado por uma análise da densidade (figura 36) a partir do método de Kernel, baseado no estudo realizado por Mahiques (2017), utilizando uma função Gaussiana (K) para um raio (r) de 100m, o que também revelou a presença de três grandes núcleos concentrados nas áreas de maior profundidade do Setor Central.

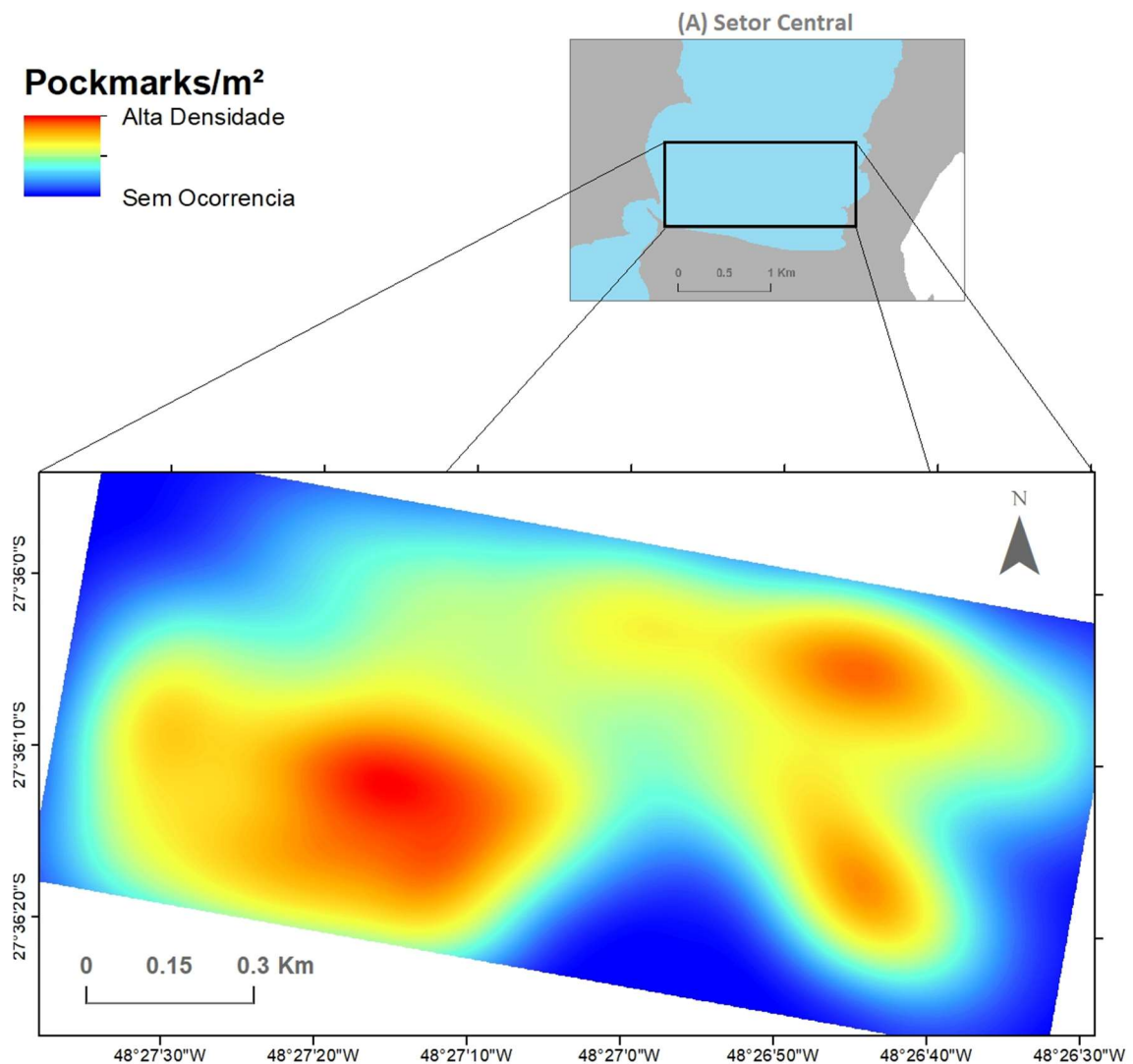


Figura 36: Densidade de Kernel indicando maiores concentrações em três grandes núcleos.

Ao comparar os núcleos de densidade, relativos a distribuição das *pockmarks*, com estudos hidrodinâmicos realizados por Andrade (2001), nota-se que os núcleos estão localizados na borda da convergência dos vetores direcionais de circulação hidrodinâmica (deixando o vórtice dentro do campo de *pockmarks* e cercado pelos três núcleos) no Setor Central da laguna; o qual segundo Andrade (2001) é uma área de circulação muito baixa e de pouca mistura entre as camadas superior e de fundo da coluna d'água, salvo pela incidência de ventos específicos em eventos esporádicos.

Esse fator pode favorecer a manutenção do campo de *pockmarks*, possibilitando que as estruturas permaneçam por longos períodos inativas no Setor Central (SC), sem que exista erosão do assoalho devido a correntes de fundo. Tal fato não se demonstra o mesmo na região mais próxima ao canal que liga o Setor Norte com o Setor Sul, onde as *pockmarks* visivelmente perderam a simetria (figura 37), o que pode indicar uma corrente de fundo predominante que liga esses dois setores, segundo estudo realizado por Gafeira *et al.* (2012).

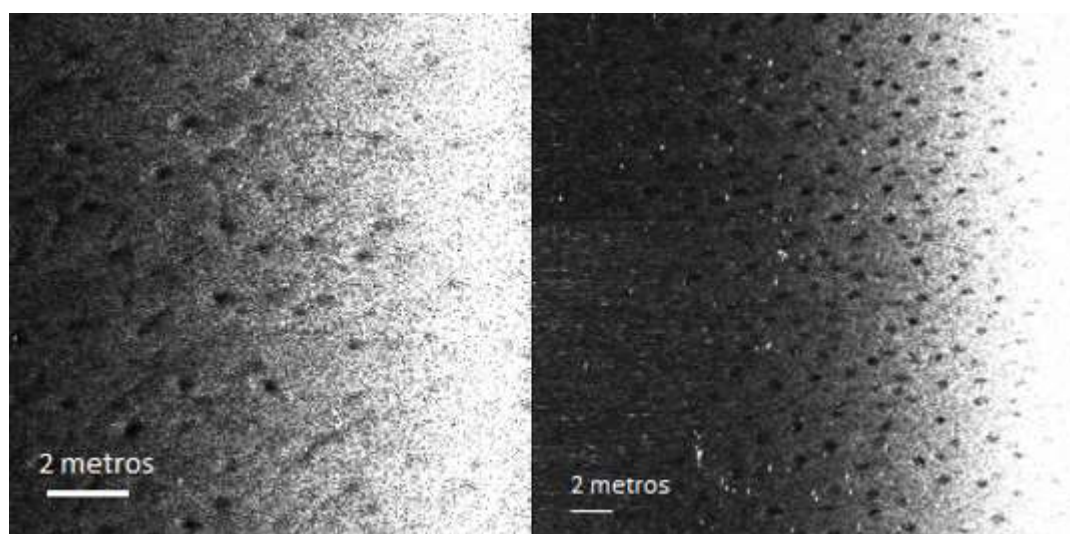


Figura 37: Comparação entre dois sonogramas; esquerda: pockmarks assimétricas (região noroeste do SC); direita: pockmarks simétricas (região central do SC)

6.3 Distribuição Sedimentar e Granulométrica

6.3.1 Análise Granulométrica e Textural

O processamento no analisador de partículas Horiba resultou em valores de tamanho de grão e classificação em relação ao grau de seleção, assimetria e curtose das amostras, conforme descrito na tabela 1.

Estação	Diam. Médio		Seleção		Assimetria		Curtose	
LC2	1.5070	Areia Média	0.4888	Bem selecionado	-0.0646	Aproximadamente simétrica	1.0080	Mesocúrtica
LC3	2.0570	Areia Fina	0.5699	Moderadamente selecionado	-0.0592	Aproximadamente simétrica	1.0337	Mesocúrtica
LC4	2.2950	Areia Fina	0.5622	Moderadamente selecionado	-0.0816	Aproximadamente simétrica	1.0722	Mesocúrtica
LC5	2.3130	Areia Fina	0.5748	Moderadamente selecionado	-0.0016	Aproximadamente simétrica	1.0950	Mesocúrtica
LC6	2.3310	Areia Fina	0.5573	Moderadamente selecionado	-0.0203	Aproximadamente simétrica	1.0931	Mesocúrtica
LC7	2.4040	Areia Fina	0.5558	Moderadamente selecionado	0.0135	Aproximadamente simétrica	1.1185	Leptocúrtica
LC8	2.1770	Areia Fina	0.5314	Moderadamente selecionado	-0.0769	Aproximadamente simétrica	1.0737	Mesocúrtica
LC9	1.8990	Areia Média	0.5133	Moderadamente selecionado	-0.1025	Negativa	1.0158	Mesocúrtica
LC10	1.9410	Areia Média	0.5141	Moderadamente selecionado	-0.0749	Aproximadamente simétrica	1.0154	Mesocúrtica
LC11	2.3200	Areia Fina	0.5586	Moderadamente selecionado	0.0012	Aproximadamente simétrica	1.1157	Leptocúrtica
LC12	2.3240	Areia Fina	0.5247	Moderadamente selecionado	-0.0420	Aproximadamente simétrica	1.0987	Mesocúrtica
LC13	1.8770	Areia Média	0.6268	Moderadamente selecionado	0.0164	Aproximadamente simétrica	1.0471	Mesocúrtica
LC14	2.0060	Areia Fina	0.6123	Moderadamente selecionado	-0.0605	Aproximadamente simétrica	1.0363	Mesocúrtica
LC15	2.8610	Areia Fina	1.9097	Pobremente selecionado	0.3510	Muito positiva	0.9621	Mesocúrtica
LC16	2.2920	Areia Fina	0.5262	Moderadamente selecionado	-0.0472	Aproximadamente simétrica	1.0721	Mesocúrtica
LC17	2.0460	Areia Fina	0.5432	Moderadamente selecionado	-0.0224	Aproximadamente simétrica	1.0705	Mesocúrtica
LC18	2.0360	Areia Fina	0.5583	Moderadamente selecionado	0.0194	Aproximadamente simétrica	1.1085	Mesocúrtica
LC19	2.2420	Areia Fina	0.4827	Bem selecionado	-0.0818	Aproximadamente simétrica	1.0612	Mesocúrtica
LC20	2.2950	Areia Fina	0.5218	Moderadamente selecionado	0.0139	Aproximadamente simétrica	1.1026	Mesocúrtica
LC21	0.8853	Areia Grossa	1.2225	Pobremente selecionado	-0.0068	Aproximadamente simétrica	0.7083	Platicúrtica

Tabela 1: Descritores granulométricos e seus respectivos valores nas amostras.

Pode-se notar a predominância da classe de areia fina em 75% das amostras, evidenciando grãos mais finos nas áreas mais profundas do setor central. Existe a presença de areia média em quatro estações localizadas nos pontos mais rasos, associados à margem dos bancos que ocorrem nas porções norte e sul. Somente a amostra LC21 apresentou a classe de areia grossa, sendo essa coletada próximo à desembocadura que conecta os setores sul e central da Lagoa da Conceição, e pode indicar uma maior intensidade hidrodinâmica no local, ou ainda influência antrópica por ser esta uma área bastante alterada para a construção de uma ponte no local.

As estações LC2 e LC19 apresentam grãos bem selecionados; uma vez que o aumento do transporte do meio implica em uma separação das partículas por tamanho, e considerando sua localização (LC2 próxima à desembocadura do Canal

da Barra; LC19 próximo à desembocadura onde se conectam o setor sul e central), é possível a estação LC2 estar situada em uma localidade onde existe ação predominante de uma corrente, associada ao fluxo de entrada e saída de água das marés.

Além disso, as amostras apresentaram em geral um selecionamento moderado. Sedimentos de praia, em geral, são moderadamente a bem selecionados, enquanto que os sedimentos fluviais são pobremente a moderadamente selecionados e os sedimentos eólicos são bem a muito bem selecionados (Martins, 2003, *apud* Jesus *et al.* 2013).

Pode-se inferir, nesse contexto e considerando como a laguna foi formada, que exista principalmente influência do aporte de sedimentos fluviais e marinhos no sistema de deposição lagunar.

Também é interessante destacar a curva de distribuição da curtose predominantemente mesocúrtica nas amostras, esse descritor está associado a ambientes onde existe caráter de deposição por influência eólica (além das demais variáveis físicas), evidenciando também esse tipo de deposição.

Outro resultado da análise granulométrica foi a porcentagem de cascalho, areia, silte e argila das amostras, conforme mostra a tabela 2:

Estação	Grão	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
LC2	Areia Média	0.00	100.00	0.00	0.00
LC3	Areia Fina	0.00	99.87	0.00	0.13
LC4	Areia Fina	0.00	99.86	0.00	0.14
LC5	Areia Fina	0.00	99.65	0.23	0.12
LC6	Areia Fina	0.00	99.79	0.07	0.14
LC7	Areia Fina	0.00	99.60	0.27	0.13
LC8	Areia Fina	0.00	99.87	0.00	0.14
LC9	Areia Média	0.00	100.00	0.00	0.00
LC10	Areia Média	0.00	99.89	0.00	0.11
LC11	Areia Fina	0.00	99.62	0.25	0.13
LC12	Areia Fina	0.00	99.71	0.05	0.25
LC13	Areia Média	0.00	99.83	0.07	0.11
LC14	Areia Fina	0.00	99.89	0.00	0.11
LC15	Areia Fina	0.00	98.89	0.06	1.05
LC16	Areia Fina	0.00	99.86	0.00	0.14
LC17	Areia Fina	0.00	99.84	0.05	0.10
LC18	Areia Fina	0.00	99.80	0.09	0.11
LC19	Areia Fina	0.00	99.86	0.00	0.14
LC20	Areia Fina	0.00	99.67	0.10	0.23
LC21	Areia Grossa	3.52	96.42	0.06	0.00

Tabela 2: Porcentagens de areia, silte e argila.

A predominância da classe das areias ficou evidente depois da análise granulométrica (figura 38), pode-se notar a presença de cascalho apenas na amostra LC21; as amostras apresentam valores praticamente insignificantes de silte e argila.

O gráfico exposto na figura 39 foi gerado com intuito de evidenciar a predominância da classe de areia fina dentro das classes de grãos presente nas amostras.

As amostras LC4, LC15, LC16 e LC20 ainda possuíam sua base *in situ* congelada no laboratório de granulometria do LOC e puderam ser analisadas sem a queima da matéria orgânica e material biotétrico e os resultados foram comparados com os previamente expostos (figura 40).

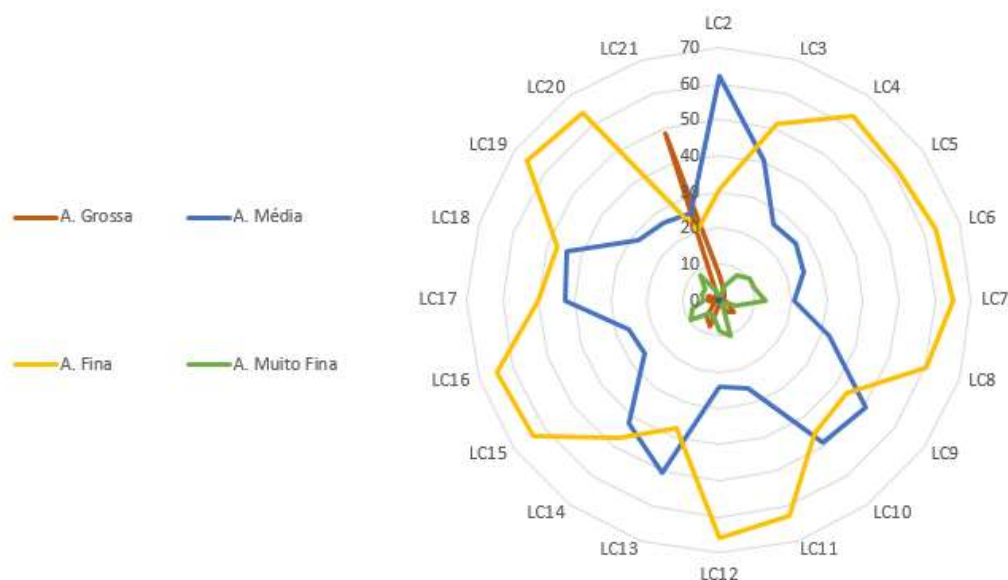


Figura 38: Distribuição (%) das classes de areia nas estações de coleta.

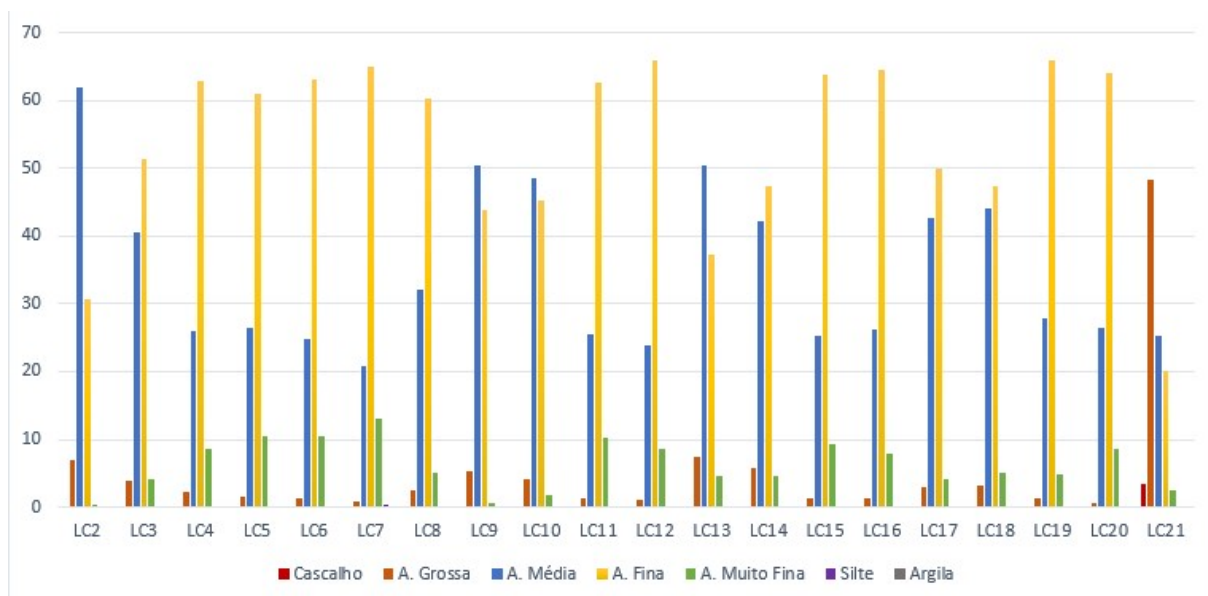


Figura 39: Distribuição (%) granulométrica das estações de coleta.

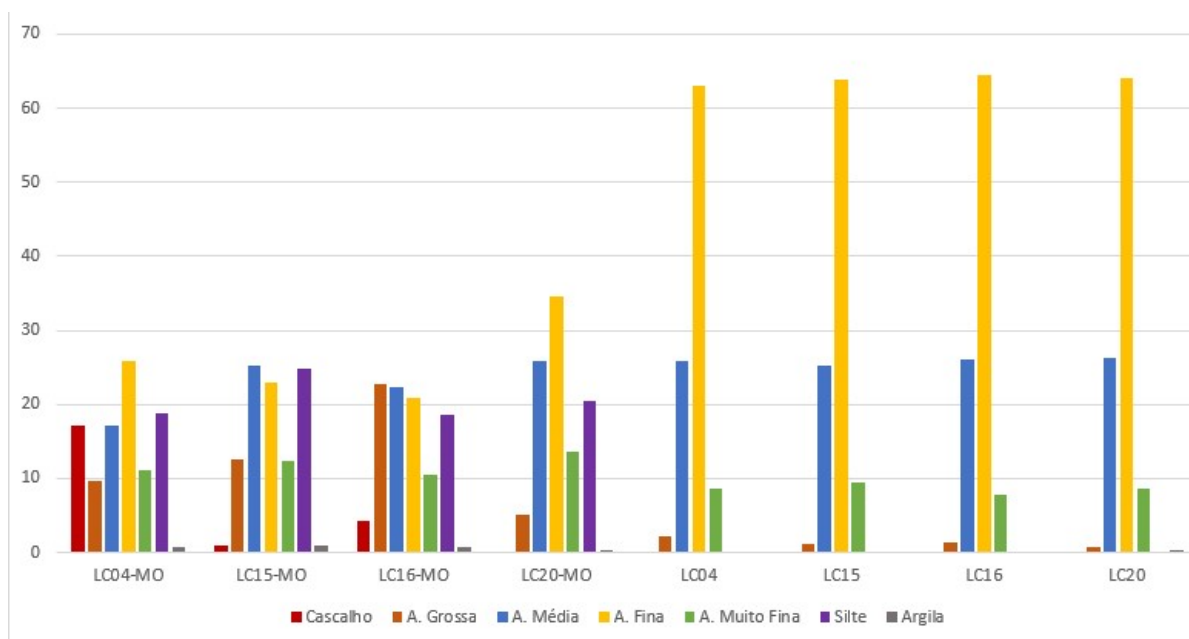


Figura 40: Comparação da distribuição granulométrica nas amostras com M.O.

É notável através dessa comparação que a classe de silte está diretamente relacionada a presença de matéria orgânica (MO), sendo essa praticamente inexistente nas amostras onde ocorreu a queima da mesma.

Com os dados do HORIBA também foram elaborados diagramas ternários

segundo a proposta de Flemming (2000) e Shepard (1954), apresentados figuras 41 e 42, respectivamente. De acordo com o trabalho de Flemming (2000), em ambos casos todas as amostras foram classificadas texturalmente como areia.

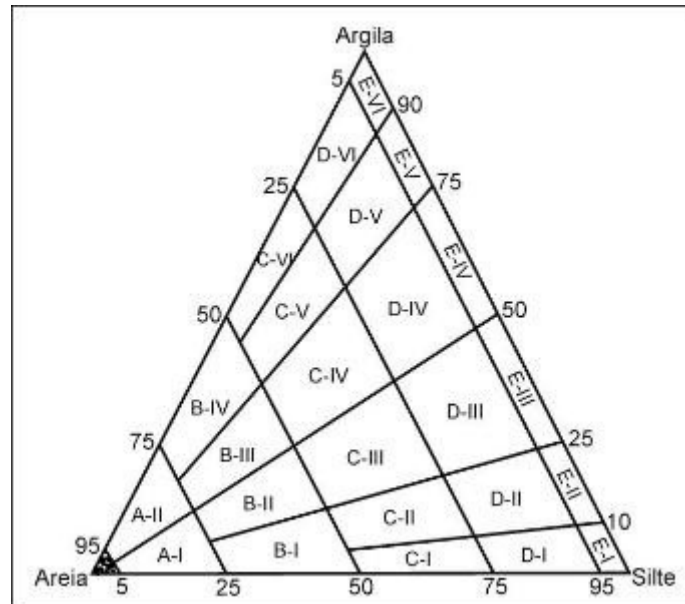


Figura 41: Diagrama triangular de Flemming (2000), para classificação textural das amostras.

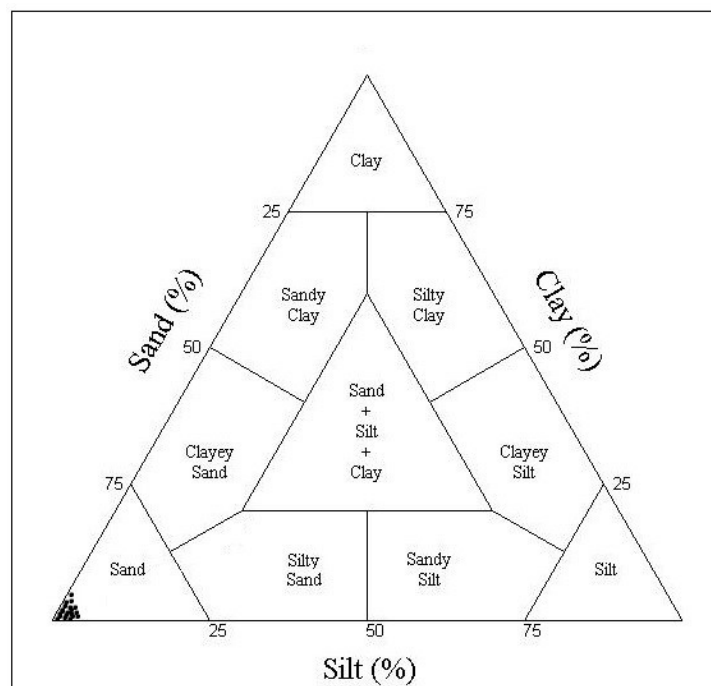


Figura 42: Diagrama triangular de Shepard (1954), para classificação textural das amostras.

Na tabela 2 é possível observar os valores de areia acima de 98% para todas as amostras, exceto a amostra LC 21, que contém 96% de areia, sendo as demais componentes (silte e argila) insignificantes. O diagrama de Flemming evidencia a classe “S” para as amostras, e o diagrama de Shepard classifica todas também como “areia” (Flemming, 2000).

6.3.2 Análise Espacial da Granulometria

A partir dos parâmetros sedimentológicos obtidos foram confeccionados modelos de superfície contínua no ArcGIS, criados através da técnica de interpolação “vizinho “natural”, para melhor visualização espacial dos dados.

No mapa de distribuição do diâmetro médio (figura 43), pode-se notar maior dispersão de grãos mais finos nas zonas de maior profundidade da laguna, onde a classe de areia fina é predominante. Áreas associadas aos bancos norte, sul e oeste apresentam granulometria de maior diâmetro, e representam sedimentos mais grossos (areia média e fina).

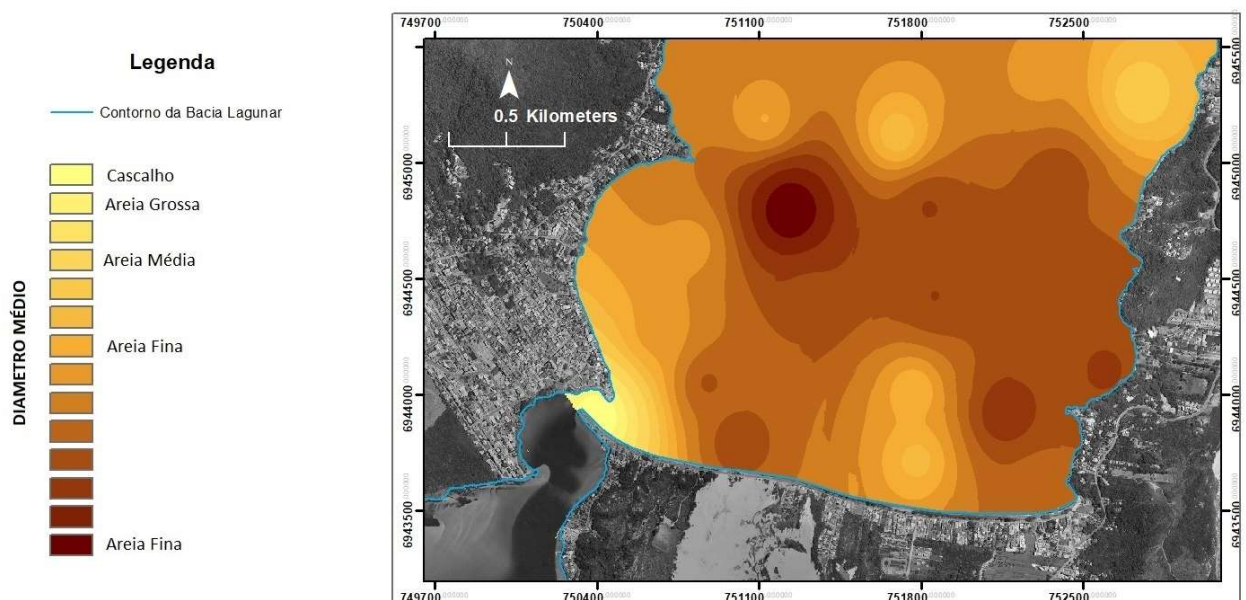


Figura 43: Mapa da distribuição do diâmetro médio dos grãos no setor central.

O mapa de distribuição do grau de seleção (figura 44) indica sedimentos bem selecionados ao longo da margem leste, confirmando análises realizadas por Porto Filho (1993); o que pode indicar um ambiente de caráter deposicional com baixa atividade hidrodinâmica. Uma vez que o grau de seleção é representado pelo desvio padrão, inserido nas relações energéticas e viscosidade do ambiente deposicional, podendo refletir a proveniência do sedimento (COIMBRA et al, 1991, *apud* BITENCOURT, 2013), o que pode explicar a distribuição de sedimentos pobremente selecionados no setor noroeste, onde está localizado o canal de circulação, local de possível maior atividade hidrodinâmica.

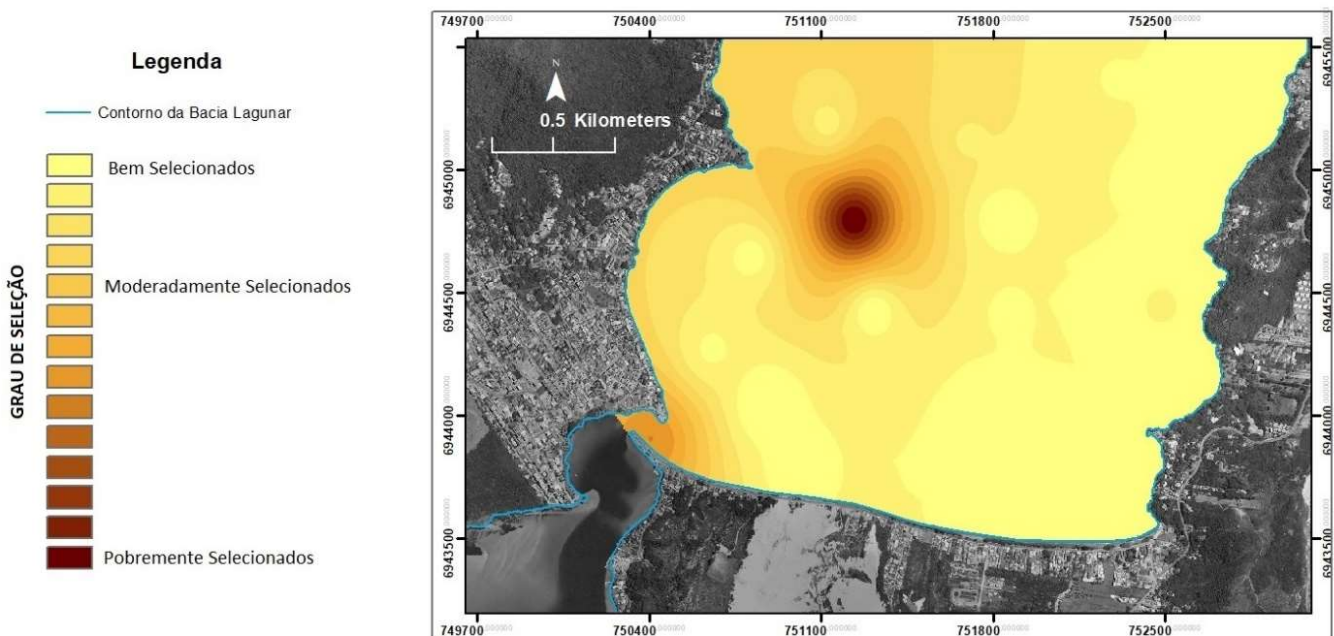


Figura 44: Mapa da distribuição do diâmetro médio dos grãos no setor central.

A representação espacial da assimetria (figura 45) revelou valores muito positivos na região central do Setor Central e também na margem sudeste paralela à Av. das Rendeiras, o que evidenciou a probabilidade de grãos mais finos nessas regiões. Os valores positivos são coincidentes à localização dos grãos bem selecionados.

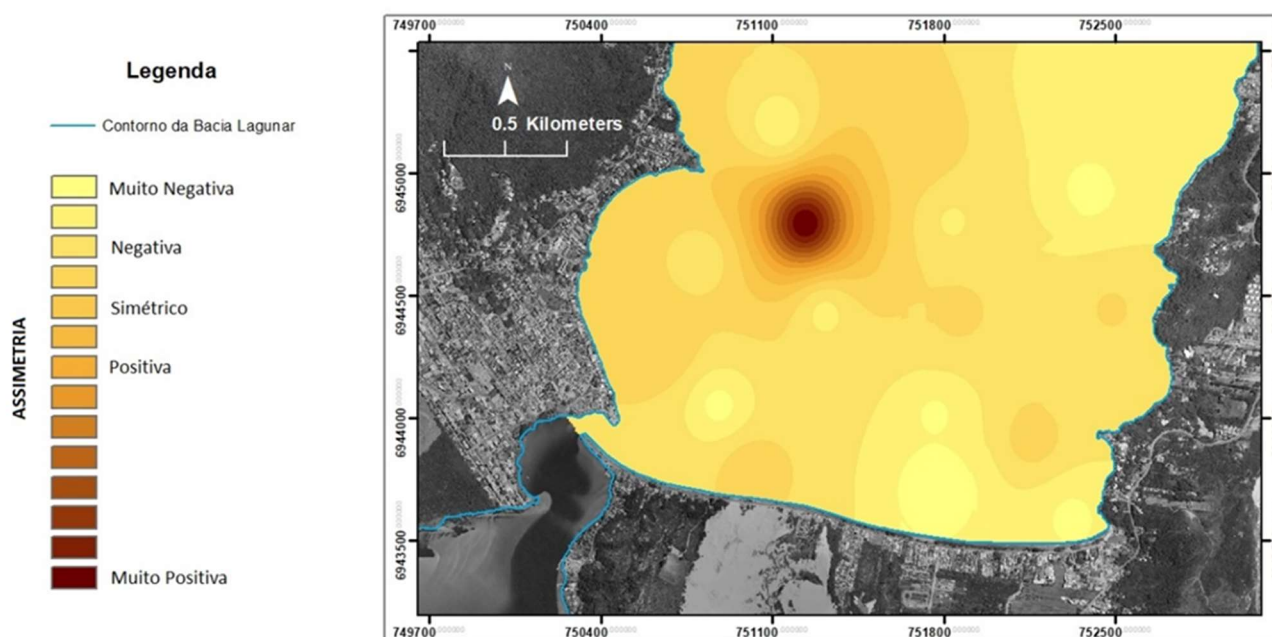


Figura 45: Mapa da assimetria dos grãos no setor central.

Os valores de curtose (figura 46) apresentam valores platicúrticos nas áreas próximas ao canal de circulação e à nordeste do Setor Central, indicando uma curva com espalhamento de sedimentos mais finos e também mais grossos nessas áreas (Jesus, 2013). Enquanto que nas áreas sudeste seguindo ao centro e noroeste são expressos valores leptocúrticos, confirmando a correlação com sedimentos mais finos nesses ambientes.

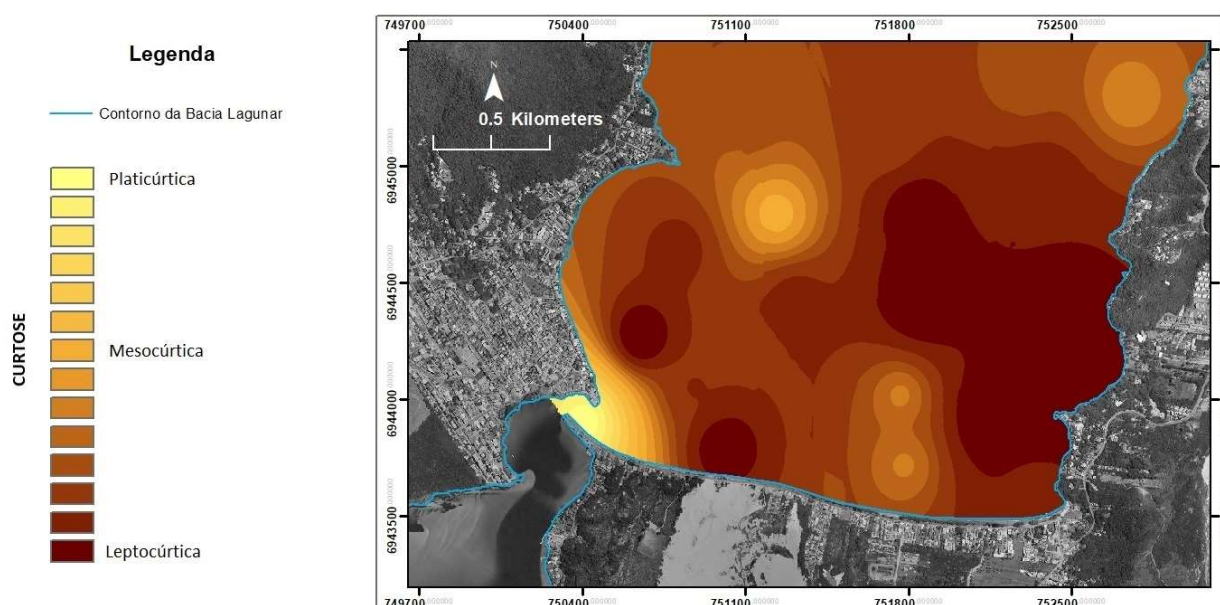


Figura 46: Mapa da curtose dos grãos no setor central.

6.4 Análise Integrada dos Resultados

A análise integrada das variáveis permitiu obter diferentes observações que possibilitaram uma maior compreensão dos processos atuantes na região sul do setor Central da Lagoa da Conceição, conforme mostra a figura 37:

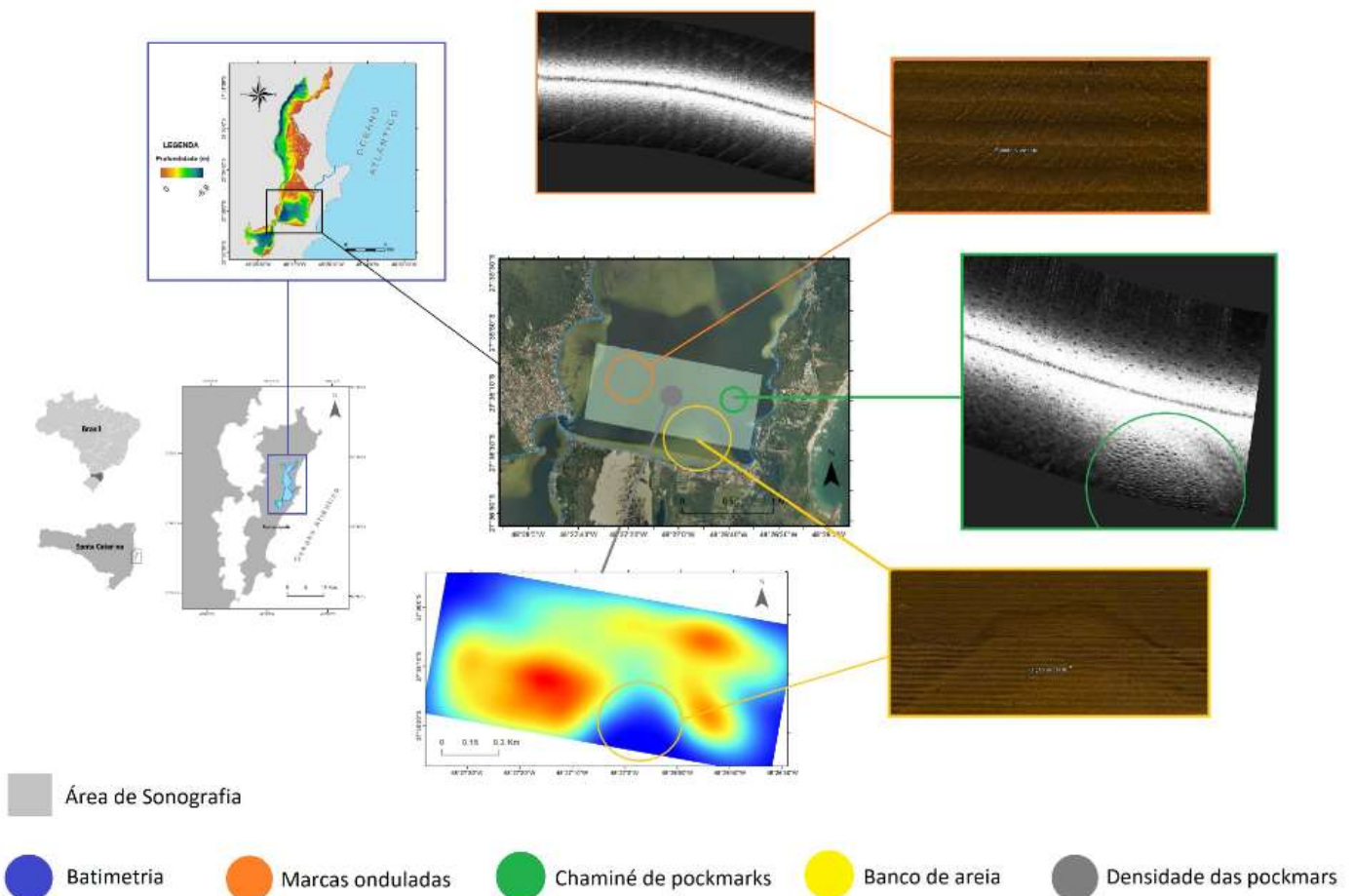


Figura 47: Integração dos resultados.

De forma geral, considerando as imagens do fundo lagunar representadas nos sonogramas, onde a simetria das *pockmarks* é constatada na maior parte do setor central, com praticamente total ausência de marcas ocasionadas pela circulação da água na camada bêntica, é possível inferir uma configuração de baixa hidrodinâmica no assoalho desse setor, confirmando as configurações da distribuição de sedimentos mais finos, apresentados nos mapas, em regiões mais profundas.

Andrade (2001) verificou através de seu modelo de transporte de partículas, que não ocorrem trocas significativas nas camadas d'água no interior da laguna (salvo

eventos aperiódicos de aumento da energia ocasionada principalmente por ventos), fato que pode acentuar ainda mais o caráter redutor, inferido pelas pockmarks, do fundo submarino e contribuir para a configuração atual do ecossistema ali presente.

A análise granulométrica também indica sedimentos provenientes, em geral, de ambientes praias e dunas; transportados principalmente pela ação das ondas e correntes costeiras, durante o período de formação da laguna e também pelo transporte eólico das partículas. Atualmente é bastante provável que a principal fonte de sedimentos da bacia lagunar seja o campo de dunas e o aporte oriundo da drenagem dos rios e córregos da região, pois de acordo com Godoy (2018) a entrada de água pelo canal da barra tem uma ligeira influência no balanço sedimentar, agindo como um filtro que tende a expulsar sedimentos.

7 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os resultados sedimentológicos e morfológicos apresentam-se concordantes com os apresentados por Porto Filho (1993) e Muehe & Caruso Jr (1989), indicando uma estabilidade batimétrica e sedimentar no sistema da bacia lagunar do setor central.

A nova abordagem, através da utilização de equipamentos de interferometria e softwares atuais, possibilitou representação quali-quantitativa das estruturas de escape de gás (pockmarks) prevista e registrada por Klein *et al.* (2016). Ao verificar que a densidade dessas estruturas é expressiva e possivelmente o escape de gás está em atividade, sugere-se a predominância de um caráter ambiental redutor para o setor central da Lagoa da Conceição.

A análise textural evidencia um ambiente predominantemente arenoso de baixa hidrodinâmica, sendo a fonte desses sedimentos ambientes praias e fluviais, transportados principalmente pela ação eólica e a drenagem fluvial ao redor da laguna.

De acordo com comparação realizada na análise granulométrica entre as amostras *in situ*, existe grande presença de material orgânico no compartimento superficial do depósito sedimentar do setor central Lagoa da Conceição.

Em relação ao granulometria, a atual pesquisa abre caminho para estudos mais aprofundados nessa área, uma vez que se comparando aos dados coletados por Muehe & Caruso Jr (1989) existe uma significativa diferença entre as classes de lama registradas na Lagoa da Conceição.

É necessário ressaltar a importância de mais estudos no âmbito sísmico, morfológico e ambiental, visando uma melhor compreensão dos fatores físicos, químicos que interagem com a biota e são afetados pela ação antropogênica; para assim ser possível verificar as tendências evolutivas da Lagoa da Conceição, visando sua preservação, através do correto uso e manejo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R., C. **Estudo da Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição**. 2001. Dissertação de mestrado em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BAUER NETO, V. **Caracterização Geomorfológica da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

BERTOLLA, J., A. **Técnicas de Análise de Dados Distribuídos em Áreas**. 2015. Dissertação de Mestrado em Biometria, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

BIRD, E. **Geomorphology: An Introduction**. 1993. *Second edition*, pg 295 - 329.

BIRD, E. **Coastal Geomorphology**. 2008. Primeira Edição, cap. 11.

BITENCOURT, V., J., B. **Caracterização Sedimentar da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (SC) e Áreas Adjacentes**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

BONHAN-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS – Computer Methods in the Geoscience**. 1994. Volume 13, pg 2 – 12.

BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. **Aplicação de QTC SIDEVIEW na classificação de sedimentos, através de imagens de Sonar de Varredura Lateral, num trecho do canal de São Gonçalo, RS, Brasil**. 2009. Gravel, Porto Alegre, volume 7, n. 1, pg 19 – 30.

BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. **Principle of Geographic Information Systems**. 1998. Oxford University Press, 34p.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. 1986. Oxford University Press, 193p.

CAMPOS, A., R. **Estudo da Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC**. 2001. Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica, Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CAMPOS, A., V. **Caracterização Morfológica e Sedimentar do Substrato das Baías Norte e Sul (SC) com Base em Técnicas de Análise Espacial**. 2011. Dissertação de Mestrado do Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

CARUSO JR, F.; MUEHE, D. **Batimetria e algumas considerações sobre a evolução geológica da Lagoa da Conceição – Ilha de Florianópolis**. Geosul, Florianópolis, v. 4, n. 7, p. 32-44, 1989.

DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica)**. 2004. Universidade do Algarve, 84p. e-book disponível em: <http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html>. Acesso em 17/01/2018.

DUTRA, S., **Caracterização Geo-Ambiental da Bacia de Drenagem do Rio João Gualberto, Ilha de Santa Catarina**. 1990. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

FELGUEIRAS, C., A. **Análises Sobre Modelos Digitais de Terreno em Ambiente de Sistemas de Informações Geográficas**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, Divisão de Processamento de Imagens – DPI, disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf>, acesso em 03/02/2018.

FIGUEIREDO, S. A. **Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes às desembocaduras lagunares e fluviais da costa do Rio Grande do Sul**. 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto de Oceanografia. Rio Grande, RS, Brasil.

FLEMMING, B.W. **A Revised Textural Classification of Gravel-Free Muddy Sedimentation the Basis of Ternary Diagrams**. Continental Shelf Research, 20, p. 1125-1137, 2000.

FOLK, R.L., WARD, W.C. **Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters**. 1957. Journal of Sedimentary Petrology, volume 27, pg 3-26.

FRANCO, D., *et al.* **O Canal da Barra da Lagoa – Florianópolis, SC – Um Filtro de Maré Natural**, 2008. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.

GAFEIRA, J.; LONG, D.; DIAZ-DOCE, D. **Semi-automated characterisation of seabed pockmarks in the central North Sea**. 2012. British Geological Survey, Edinburgh, UK.

GODOY, F. B.; FRANCO, D.; SOUZA MARIO, H. F. **O Canal da Barra da Lagoa – Florianópolis, SC – um filtro de maré natural**. 2018, Laboratório de Hidráulica Marinha, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

HARRIS, P.T. & BACKER, E.K. **Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHAB Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats**. 2011. 1st Edition. Pg 9 – 15.

HORN FILHO, N. O.; FILHO, É. P.; FERREIRA, E. **Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira adjacente à enseada dos Currais, Santa Catarina, Brasil.** 2004. Porto Alegre. Revista Gravel, no 02, p. 25 – 39.

HORN FILHO, N., O.; SILVA, M. **Roteiro Ecológico-Ambiental ao Longo da Planície Costeira da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** 2010. Revista Discente Expressões Geográficas, no 07, ano VII, p. 210 – 231. Florianópolis.

JESUS, L. V.; ANDRADE, A. C. S. **Parâmetros Granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas-Aracaju-SE.** 2013. Scentia Plena, volume 9, n 5. Associação Sergipana de Ciência, Aracaju, SE, Brasil.

KLEIN, A. H. F.; PORPILHO, D.; FLEMMING, G. R.; de CAMARGO, R. S. V. **Cruzamento de dados geoacústicos para identificação de feições indicativas de gás na Lagoa da Conceição – Florianópolis, Santa Catarina.** 2014. Simpósio Brasileiro de Geofísica, volume 6. Porto Alegre, Brasil.

LUNDBLAD, E. *The Development and Application of Benthic Classifications for Coral Reef Ecosystems Below 30 m Depth using Multibeam Bathymetry: Tutuila, American Samoa.* 2004. Dissertação de Mestrado, Oregon State University, Corvallis, Estados Unidos,

POPPE, L.J., ELIASON, A.H., AND HASTINGS, M.E. *A Visual Basic program to classify sediments based on gravel-sand-silt-clay ratios.* Computers & Geosciences, v. 29, no. 6, p. 805-809. 2003.

MAHIQUES, M., *et al.* 2017. **An extensive pockmark field on the upper Atlantic margin of Southeast Brazil: Spatial analysis and its relationship with salt diapirism.** Heliyon, n.e00257.

Manual Horiba LA-950. Disponível em: <https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Documents/PSA/PSA_Guidebook.pdf>, acesso em 12/12/2017.

Manual EdgeTech 4600. Disponível em: <http://www.edgetech.com/wp-content/uploads/2014/07/4600-Startup-Guide_990-4600STG-1000_0012884_Rev_E.pdf>, acesso em 13/08/2017.

MARTINS, L. R. **Recent Sediments and Grain size analysis.** 2003. Revista Gravel, n 8, pg 90 – 105. Porto Alegre, RS, Brasil.

MATOS, A. C. O. C. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NASCIMENTO, A, P. **Estimação do Tipo Kernel para Distribuições Simétricas Usando Técnica de Monte Carlo**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso em Estatística – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Brasil.

NICHOLS, G. **Clastic Coasts And Estuaries**. 2009. Second edition, pg 199 – 213.

PORPILHO, D. **Padrão morfológico e sonográfico da plataforma continental interna adjacente ao setor leste da Ilha de Santa Catarina**, 2015. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

PORTO FILHO, E. **Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina**. 1993. Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

REBELLO FILHO, W.; BERNARDO, C. **Guia Prático de Direito Ambiental**. Editora LUMEN JURIS LTDA. Rio de Janeiro, 1998. 273p.

RUDORFF, F., M., *et al.* **Setorização do Subsistema Sul da Lagoa da Conceição, Santa Catarina**. 2005. Laboratório de Oceanografia Costeira, Programa de Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

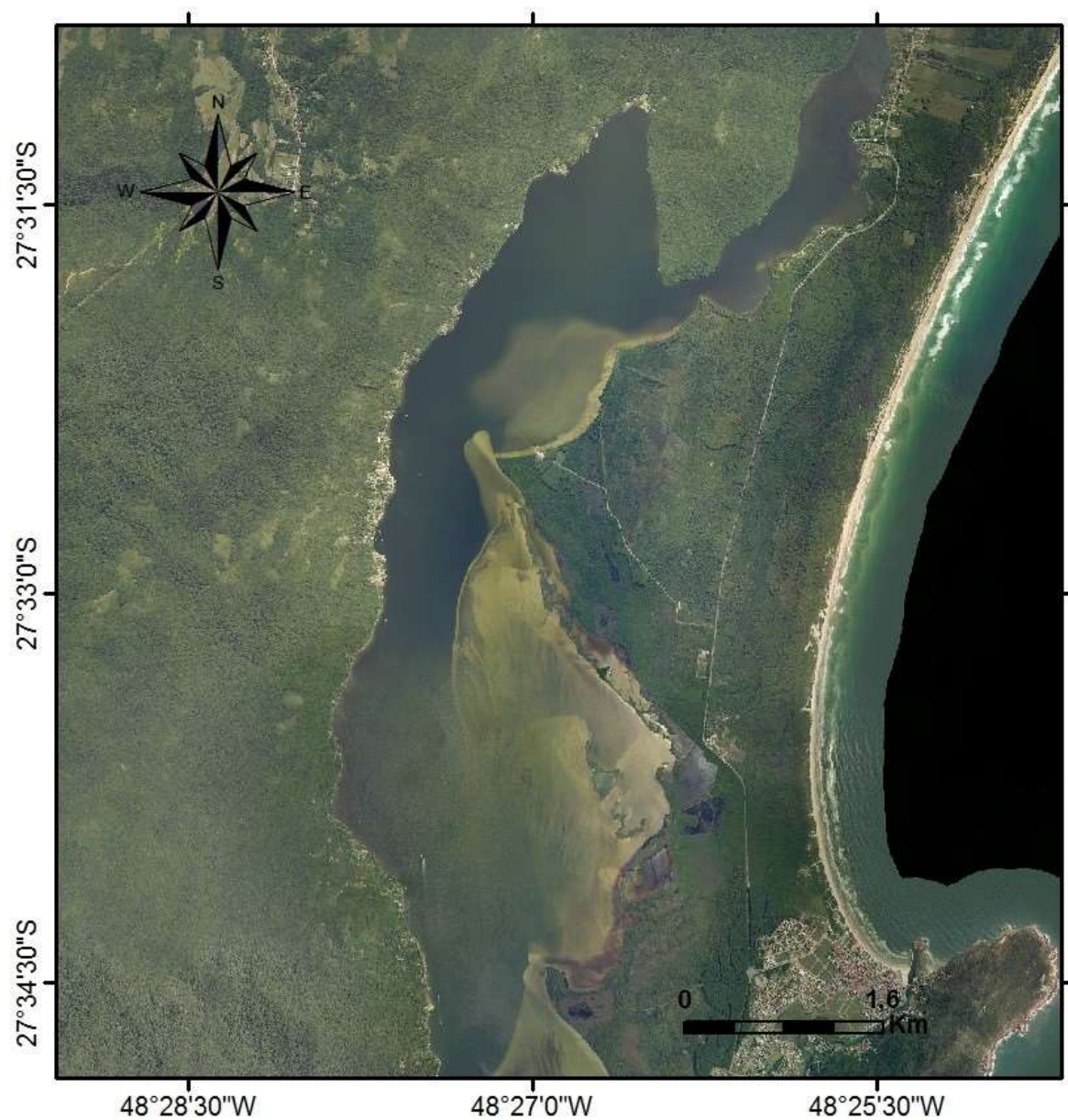
SCHATTNER, U.; LAZAR, M.; SOUZA, L. A. P.; ten BRINK, U.; MAHIQUES, M. M. **Pockmark asymmetry and seafloor currents in the Santos Basin offshore Brazil**. 2016. Geo-Marine Letters, volume 36, pg 457 – 464. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.

SILVERMAN, B., W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. 1986. School of Mathematics University of Bath, Monographs on Statistics and Applied Probability. London, UK.

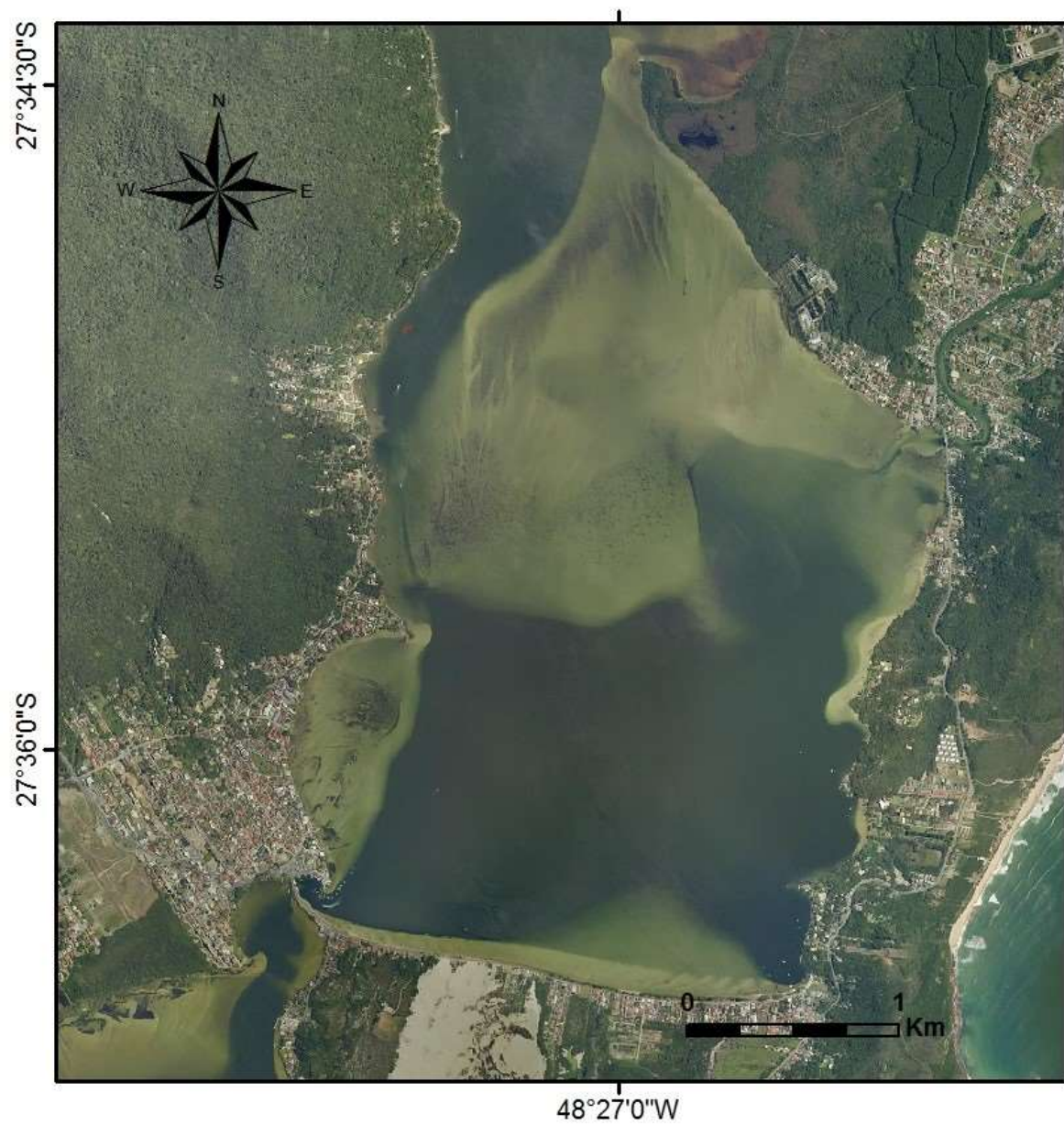
SOUZA, L. A. P. **Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas**. 2006. Tese de doutorado em Ciências na área de Oceanografia Química e Geológica. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

SUGUIO, K. 2003. **Geologia Sedimentar**. Primeira edição, 416 pg.

ANEXO I – Setor Norte da Lagoa da Conceição (Lagoa de Cima):



ANEXO II – Setor Central da Lagoa da Conceição (Lagoa do Meio):



ANEXO III – Setor Sul da Lagoa da Conceição (Lagoa de Baixo):

